

工程系统论

ENGINEERING SYSTEM THEORY

李喜先 等 著



科学出版社

www.sciencep.com

(N-0291.0101)

责任编辑：姚平录 王丽平

封面设计：黄华斌 高海英

- 科学系统论
- 技术系统论
- 工程系统论
- 知识系统论

ISBN 978-7-03-019929-4



9 787030 199294 >

定 价：45.00 元

N945/20

2007

工程系统论

ENGINEERING SYSTEM THEORY

李喜先 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要运用现代系统概念、系统理论和系统观,从普遍存在的种类纷繁的系统中,抽象出一个极其复杂的与科学系统、技术系统紧密相关的工程系统,将其作为认识客体,研究其特性、结构、环境、功能、演化、模式和类型等,从而形成工程系统理论,即一种他组织系统控制自组织系统而形成的人工系统理论,并导致若干推论和应用。

本书可供科学、技术、工程工作的领导者,系统科学、科学哲学、技术哲学、科学社会学、技术社会学和工程哲学等研究者,及其相关的发展战略、政策、管理研究者,以及广大的研究生、大学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程系统论/李喜先等著. —北京:科学出版社, 2007

ISBN 978-7-03-019929-4

I. 工… II. 李… III. 系统工程—概论 IV. N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 139699 号

责任编辑:姚平录 王丽平/责任校对:包志虹

责任印制:白 羽/封面设计:高海英

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地书店经销

*

2007年9月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2007年9月第 一 次 印 刷 印张: 17 3/4

印数: 1—2 000 字数: 420 000

定 价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

本课题研究的资助单位

原 国 家 科 学 技 术 委 员 会
中 国 科 学 院
国 家 自 然 科 学 基 金 委 员 会
中 国 科 学 院 出 版 基 金 专 家 委 员 会

作 者

(按姓氏笔画为序)

刘峰松
苗东升
袁向东

李伯聪
金吾伦
董光壁

李喜先
胡作玄

前 言

1989 年,在中国科学院、国家科学技术委员会、国家自然科学基金委员会和中国科学院出版基金专家委员会的资助下,我们开始本课题的研究,其成果将形成 4 本专著:《科学系统论》、《技术系统论》、《工程系统论》和《知识系统论》。

本课题由李喜先负责,并进行全书框架构思和统稿。

本书是这 4 本专著中的《工程系统论》,共分为上、中、下三篇,共 16 章。各章撰稿人员如下:

刘峰松研究员(中国科学院院士工作局)撰写第 15 章;

李伯聪教授(中国科学院研究生院)撰写第 6、12 章;

李喜先研究员(中国科学院原科技政策局)撰写导论、第 1、13 章;

苗东升教授(中国人民大学哲学系)撰写第 2、10 章;

金吾伦研究员(中国社会科学院哲学所)撰写第 9、14 章;

胡作玄研究员(中国科学院系统科学所)撰写第 5、16 章;

袁向东研究员(中国科学院数学所)撰写第 11 章;

董光壁研究员(中国科学院自然科学史所)撰写第 3、4、7、8 章;

同时,苗东升教授审阅了第 13 章,金吾伦研究员审阅了第 15 章,董光壁研究员审阅了第 11 章。

李喜先

2006 年 11 月 24 日

目 录

前言

导论	1
----------	---

上篇 总 论

1. 工程系统	7
1.1 工程	7
1.2 工程系统的涵义	11
1.3 工程系统的特性	19
1.4 科学系统、技术系统与工程系统	20
1.5 工程系统论与系统工程学的区别	25
2. 工程系统的结构、环境与功能	27
2.1 工程系统的结构	27
2.2 工程系统的环境	35
2.3 工程系统的功能	40
3. 工程系统的演化	46
3.1 权势主导的工程系统	46
3.2 经济主导的工程系统	50
3.3 智力主导的工程系统	55
4. 工程系统的模式	61
4.1 开发生活资源主导的工程系统	61
4.2 扩大生存空间主导的工程系统	65
4.3 保护环境安全主导的工程系统	69
5. 工程分类	74
5.1 价值及其分类	74
5.2 工程的范围	81
5.3 历史上的工程	83
5.4 工程分类系统	90

中篇 分 论

6. 自然工程系统	95
6.1 自然工程系统的性质	96

6.2	自然工程系统的发展	99
6.3	自然工程系统的要素	104
6.4	自然工程系统的过程	107
6.5	自然工程系统的价值	109
7.	社会工程系统	112
7.1	政治工程系统	112
7.2	经济工程系统	117
7.3	社团工程系统	121
8.	思维工程系统	127
8.1	推理工程系统	127
8.2	演算工程系统	131
8.3	确证工程系统	135
9.	学习工程系统	139
9.1	学习工程系统的价值取向	140
9.2	学习工程系统的观念基础	143
9.3	学习工程系统的概念框架	146
9.4	学习工程系统的圣吉模式	151
9.5	学习工程系统的技术支撑	158
9.6	学习工程系统的组织管理	162
10.	复杂工程系统	165
10.1	从简单工程系统到复杂工程系统	165
10.2	工程系统要素的复杂化	168
10.3	工程系统结构的复杂化	172
10.4	工程系统环境的复杂化	175
10.5	复杂适应性工程系统	179
10.6	开放复杂巨型工程系统	182
11.	虚拟工程系统	186
11.1	虚拟工程系统概述	186
11.2	实体虚拟工程系统	190
11.3	要素虚拟工程系统	196

下 篇 应 用

12.	工程系统设计	203
12.1	设计的历史发展	204
12.2	设计的基本性质和特征	206
12.3	现代设计的类型和设计工作流程	213

12.4 设计的作用	215
13. 工程系统管理	219
13.1 一般管理	219
13.2 工程系统管理概述	224
13.3 工程系统的管理系统	227
14. 自然控制工程	236
14.1 自然控制工程系统的内涵	236
14.2 自然控制工程系统的结构与功能	237
14.3 自然控制工程系统的特征	239
14.4 自然控制工程系统的价值	240
14.5 自然控制工程系统尚存的挑战	242
15. 知识创新工程	244
15.1 知识的涵义	244
15.2 一般创新的概念	246
15.3 知识创新的特征	248
15.4 知识创新工程化	250
16. 人类未来文明工程	254
16.1 人类未来的情景	254
16.2 人类未来文明工程的框架	257
16.3 生存基础工程	257
16.4 身心工程	262
16.5 文化工程	264
16.6 理想社会工程	268

李喜先

导 论

我们主要运用现代系统概念、系统理论和系统观,从普遍存在的种类纷繁的系统中,抽象出一个与科学系统、技术系统紧密相关的工程系统作为研究对象——认识客体,并将其视为一个他组织系统,也可作为他组织系统与自组织系统相结合从而具有更高级组织形态的系统。实际上,凡人造事物都是他组织系统,工程系统就是典型的他组织系统。

工程活动的发生在于满足人类生存的需要,由此显露其最大的价值。我们要追溯工程的起源和演变,从中可以看出其构成要素的形成,并发展成为非常复杂的工程系统,以致衍生成自然工程系统、社会工程系统和思维工程系统等。我们将研究其结构、环境、功能、演化、模式和类型等,从而形成相应的工程系统理论。最后,从整体上加深对工程系统的认识,进行系统的反思,从而建立起工程系统观,以引导我们科学地创建现代工程和未来文明工程,特别是理想社会工程。

一、工程系统形成

在生存论的意义上,由于工程的意义要比技术和科学更为根本,由此引申出,工程的发端应早于技术,而技术的发端则早于科学。由于工程的发生和演变都与产业紧密相关,因而我们将工程的发展阶段大体上分为三个时期:农业时代的工程、工业时代的工程和知业时代的工程。特别是,自工业革命以来,构成工程的多种要素也突显出来了,以致发展成为非常复杂的工程系统。在构成工程系统的多种要素中,主要有价值、科学、技术和管理四种:其一,价值在工程系统中是具有核心地位的要素。一般地,价值是指客体的固有属性能满足主体的需求而导致所追求的对象。因此,工程系统所具有包括物质的、精神的价值,就成为主体所追求的对象了。据此,我们可以推断,在构成工程系统的多种要素中,价值自始至终起着支配作用,就类似于哈肯(H. Haken)在《协同学导论》、《高等协同学》等多部著作中论及系统内序参量所起的支配作用。其二,任何工程系统皆蕴含着科学。无论是最早发端的原始工程还是复杂的现代工程,都必须符合科学原理。相反的,凡是违背科学原理的工程,或者不合人意,或者迟早会失败,甚至带来灾难。其三,任何工程系统都将经过选择而集成着众多类技术。就是说,工程系统不但要集成数量众多的技术,而且集成技术的复杂程度、集成密度还存在着递增现象。其四,管理在工程系统中起着他组织作用或控制作用。在概念上,控制与管理基本相同。但

是,在社会系统、有人参与活动的系统中,一般地都称为“管理”。工程系统是有目的的活动系统,凡有目的的系统都必然存在着控制或管理。这样,才能将诸构成要素——价值、科学、技术——聚集齐备,从而整合为能运行起来的工程系统。

工程系统独自具有而其他系统如科学系统和技术系统等所不具有的特殊属性:专一性,是指它满足于特殊用户的需求,从而只能存在专项的工程系统;一次性,是指任何工程系统都要受到时空的限制,因而不可能完全一样;目的性,是指任何工程系统都有明确的目的,并通过控制或管理,使目的具体化,从而达到预定的目标——实现了的目的。同时,工程系统与科学系统、技术系统在研究客体、研究主体、研究方法、研究起点、研究结果、研究目的、评价标准、社会功能和社会价值等方面,既存在着显著的区别,又有着密切的联系。

二、工程系统理论

1. 他组织控制自组织系统原理

工程系统理论与科学系统、技术系统理论一样,都是特殊系统理论,即研究具有特殊系统意义的工程系统所形成的系统理论。凡工程系统都是人工系统,而且是典型的他组织系统。实际上,任何的工程系统,无论是自然的、社会的,还是思维的工程系统,都必须通过控制或管理的作用,即他组织力或强迫力,才能将各构成要素组织起来,形成能运行的人工系统。即使是一个具有自组织机制的自组织系统,也要经过外部的他组织作用,从而形成一个他组织与自组织相结合的具有高级组织形态的系统。因此,可以说,在工程系统理论中,须强调他组织控制自组织系统的原理。

2. 工程系统的结构、环境、功能及其间的关系

在工程系统中,正是通过他组织作用,才能把诸要素“黏合”起来,使经过选择的多类知识发生多种相互作用和联系方式,从而形成知识结构。同时,工程系统还存在着信息结构,即系统各要素之间通过信息交流变换而形成的有机整体;以及过程结构和价值结构等。

工程系统与其他系统一样,都必须在环境系统——外部一切不可忽略的相联系的事物中——生存和发展,并承受环境系统的塑造、限制和压力。而与工程系统最密切联系的环境系统,是由科技环境、文化环境、社会环境和自然环境构成的系统,其间形成必不可少的构成关系。在广义上,工程系统之外还有非系统,也构成它的环境。

凡系统都有其行为、功能和环境。维纳等人把“行为”概念推广到一切系统,并将系统行为定义为“系统相对于它的环境做出的任何变化”。即相对于它的环境,系统自身的变化,是系统自身特性的表现。而系统行为引起环境中的某些事物——功能对象——发生有益的变化,形成系统的功能。由此可见,功能只有在系统行为过程中才能表现出来,并可通过功能对象发生的变化来度量。工程系统的

功能主要包括科技功能、文化功能、社会功能、经济功能等。

系统的结构、功能、环境之间有着复杂的关系：一般地，功能不仅仅由结构决定，而应由系统的元素、环境和结构共同确定，而功能还对结构有反作用；系统的结构必须在环境的支持和制约下才得以建构和维持，系统的状态也必须以环境为参照物才得以显现。

3. 工程系统沿社会中轴演化

我们不仅要认识工程系统的结构、环境和功能，而且还要了解它的演化和模式(pattern)。

一般地，事物的演化是普遍存在的现象。凡现实的系统都因相互作用而导致演化，一种特殊的运动形态，即一种不可逆的、沿着特定路线的有限运动。在人类学的意义上，我们来考察工程系统的演化，特别是在文化母系统这种环境超系统中，考察自然工程系统、社会工程系统和思维工程系统相互作用而不断地演化。同样地，文化系统作为环境系统，自身也在不断地演化，即既有定常性，又有变动性。而文化系统总是沿着价值观所凝聚的社会中轴的转换而演化，依次演化的历史逻辑表征的社会中轴为道德、权势、资本、智力和情感。为了适应环境系统的变迁，工程系统也要沿着不同历史时期的特定社会中轴而演化。我们依次重点论及以权势、资本、智力中轴所主导的工程系统演化形态：

在农业文明时期，权势主导的工程系统受“权力本位”价值观的支配，从而形成象征权势的各类工程系统，如炫耀权力的巨型埃及法老陵墓，国王立法的罗马法律体系，以及知识权力化的中国科举制度等，都是以满足权力需要而追求的对象。

在工业文明时期，资本主导的工程系统受“金钱本位”价值观的支配，从而形成以金钱取代权力为标志的各类工程系统，如为了改变落后的农业经济而发展资本主义的法国大革命——社会工程系统，开凿黄金水道苏伊士运河，建立智力商品化的知识产权制度等，都是以谋求资本、金钱为中心。

在知业文明时期，智力主导的工程系统受“智力本位”价值观的支配，涌现了许多以生产、传播、扩散、储存知识为目的的各类工程系统，如知识与经济结合的科学工业园区、国际互联网、认识自然界的大科学工程等，都是围绕智力而展开的伟业。

特别是，我们还要认识到，工程系统要随时空而不断地沿着复杂性方向演化，这归之于为了适应环境，系统的要素异质而巨大及其相互作用的非线性，以及系统的要素、结构、环境等复杂化，这样就必然引起不可逆地朝着复杂性方向演化。

4. 工程系统总以一定模式存在

凡系统总是以一定的“模式”而存在着。模式概念的引用十分普遍，特别是在计算机科学、心理学、人工智能等领域中有着广泛的应用。正因为其应用的广泛性，就将依语境、目的不同而异。一般地，模式一词又译作“范型”，指可以作为范本、模本的式样，也可以指图像等具体对象或形态、外形、类别等抽象对象，往往区别于以数字形式来描述对象。在此，我们在抽象的意义上利用这一概念来刻

画工程系统的模式。

以开发资源为目的的工程系统,包括农业时代以金属革命、工业时代以能量革命、知业时代以信息革命为标志的各类工程系统,这可归之为资源型工程系统模式。

以扩大空间为目的的工程系统,包括:在农业时期,扩展疆土,如张骞陆上开拓丝绸之路,哥伦布、麦哲伦等远洋航行,开拓海疆;在工业时期,继续扩大疆域,如开垦美洲、澳洲等,进入海洋、大气层,开辟航线;在知业时代,从地球两极、海底,直到月球、行星等近地天体,乃至茫茫太空。这可归之为扩张型工程系统模式。

以保持安全为目的的工程系统,包括:防御安全,如古代构筑万里长城;生存保险,如英国建立劳合会;环境安全,人类建立国际地圈—生物圈计划等。这可归之为安全型工程系统模式。

5. 工程系统衍生出新系统

在逻辑上,我们将工程系统区分为三大类子系统:自然工程系统、社会工程系统和思维工程系统。这几类工程系统对于满足人类生存、发展的需要起着最基本的和永续的作用。但是,随着人类向更高级阶段的发展,就衍生出崭新的工程系统,包括学习工程系统(含教育工程系统等)、知识创新工程系统、文明工程系统和理想社会工程系统等。这必将为人类创建学习型社会、迈向知识社会奠定坚实的基础。

6. 工程系统的虚拟现实

一般而论,工程系统是指真实的工程系统在虚拟环境中的实现。随着现代计算机软硬件技术和网络技术的发展,在一定程度上具备了在计算机及其外部设备和网络中(即虚拟环境中)进行工程活动的可能性。我们可以在真实的工程活动进行前,在这些设备上对工程的全部生命周期内的全部或部分运作进行虚拟,构筑起一个虚拟的工程系统——实体虚拟工程系统。从另一视角,又可定义另一类虚拟工程系统,即工程系统在其要素空间上的投影——要素虚拟工程系统。这样,就构成工程系统的两类虚拟现实系统。

三、工程系统观

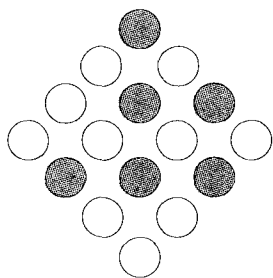
正如科学系统观、技术系统观是对科学系统、技术系统持基本的、总的观点一样,工程系统观就是对工程系统形成基本的、总的观点,也应是对工程系统的反思或再认识。这种认识应是理论化、系统化的高度抽象,即一种认识的“升华”。

在追溯起源中,我们就更能意识到,原初的工程活动对于维系人类的生存进而增进与自然界、人与人之间的社会关系的重大意义。在漫长的历史长河中,工程的演化又总是与人类的发展和命运息息相关,不断地增进人类文明的进程。

坚持工程系统观,就是坚持工程观与系统观的融合,即是系统观透入工程观的全部观点。这样,工程具有的一系列系统特性,如整体性、层次性、开放性等,特别

是他组织系统的特性也就显现出来了。进而可以认识到,工程系统的复杂结构、多种功能、与环境的互塑共生关系,以及如何以不同的模式,沿着社会中轴向复杂性、高层次方向演化。尤其是,在不断地满足人类更高、更多的需要中,即建立高级社会文明过程中,应坚持在工程系统观中渗透着新的伦理观。

坚持工程系统观,就能够发现形成具有系统意义的工程系统的原理:其一,只有遵从自组织原理,才能形成工程系统;其二,必须满足他组织控制自组织原理,才能形成工程系统。因此,我们推崇工程系统观,就是要坚持自组织系统与他组织系统相融合从而达到高级系统形态的观点。



上篇 总 论

李喜先

1. 工 程 系 统

我们运用现代系统概念、系统理论和系统观,从普遍存在着的种类纷繁的系统中,抽象出来的与技术系统和科学系统紧密相关的一个极其复杂的工程系统,并研究其结构、功能、环境和演化等,从而形成工程系统理论。

首先,我们要界定工程和工程系统的含义,研究工程系统的特性,论及工程系统与科学系统和技术系统的区别和联系,并认清工程系统论与系统工程学的区别。

1.1 工 程

1.1.1 工程的含义

“工程”一词的含义泛指一切工作、工事以及有关程式。^① 工事为营造制作之事的总称,而程式是指规程、法式。

在不同历史时期、不同国家和民族中,工程的含义不断地变化着。我国宋代,

^① 辞源(修订本,第二册),商务印书馆,1980年,第0953页。

在欧阳修、宋祁等约始于1044年编撰的《新唐书》(共225卷,历时17年)^①中,“工程”一词已出现了,书中一二六《魏知古传》:“会造金仙、玉真观,虽盛夏,工程严促。”后来,1370年,在宋濂等撰《元史》(210卷)中,也论及了工程一词;1791年(乾隆五十六年),在《红楼梦》十七回中论道:“园内工程,俱已告竣。”18世纪,欧洲创造出了“工程”一词,其本来含义是兵器制造、军事目的的各项劳作,并扩展到许多领域,如建筑屋宇、制造机器、架桥筑路等。后来,凡指改造自然的实践活动,统称为工程,以至将其引申为把自然科学、社会科学原理应用于社会实践中而形成的各种方法、技术的总称。

在英语词类中,“engineering”一词是多义词,其含义主要为“工程(学)、机械、工事、操纵”等,这与汉语中“工程”一词的含义相近。

“工程”一词的含义还有狭义和广义之分:凡人类实践仅作用于物质世界而形成的工程,称为狭义的工程;而广泛地作用于物质世界和精神世界而形成的工程,称为广义的工程。实际上,人类实践不仅限于物质世界,而同时会广泛地涉及社会交往、思维活动等观念形态及其载体符号世界。

本书论及广义的工程,并给出一般定义:工程是以价值取向,整合科学、技术与相关要素,有组织地实现特定目标的实践。

在不同的历史时期,工程的发展有不同的特性,并相应地形成了历史分期。我们在《科学系统论》一书中,将科学区分为古代科学、近代科学和现代科学;在《技术系统论》一书中,将技术区分为古代技术、近代技术和现代技术。

1.1.2 工程分期

在本书中,将工程区分为农业时代工程、工业时代工程和知业时代工程。之所以如此区分,主要是基于工程与生产、产业的紧密关系。

1.1.2.1 农业时代工程

农业时代工程较早地出现在约公元前8000年至新石器时代末与农业、畜牧业密切联系的时期。这时,产生了人类史上一次巨大的农业革命或新石器革命,相继地出现了与生活、定居相关的建筑工程等,如出现了聚居的村落:“土耳其恰塔尔·休于遗址反映了新石器时代早期人类定居公社的建筑情况。这一遗址占地32公顷,住房由土坯砌成,每一房屋由一面积为5米×4米的起居室和一个至几个附属房间组成。”^②同时,由于人类在长期的实践中,积累起经验,能用语言符号交流思想,发展出推理的能力,以至形成了抽象概念,建立起人类社会最初级的组织形式,如自然形成的、以血缘关系为纽带的氏族制,直到担负社会公职、赋有公共权力的国家机构。

① 乔卫平总监纂,中华文明史,河北教育出版社,1994年,第六卷,第632页。

② 吴天璠,齐世荣主编,世界史(古代史编),上卷,高等教育出版社,1994年,第19—20页。

农业文明经历了漫长的过程,一直延续到以工业革命为标志的 18 世纪 60 年代。在这一漫长的时期里,人类创造了古代文明(前 3500—1000)、古典文明(前 1000—公元 500)和中古文明(500—1500),即经历了原始社会、奴隶制社会和封建制社会。

在古代文明时期,人类建造了许多大规模的工程。大约在公元前 6000 年,苏美尔人已经能利用水利、开凿渠道、建造灌溉网、引水肥田。在公元前 3000 年,苏美尔地区已出了 12 个独立的城国家,其中的乌鲁克就占地 1100 英亩;建筑塔庙,其中最著名的乌尔大塔庙共 4 层,底层面积为 61 米×45.7 米,装饰精美。特别是,在公元前 4000 年代末,苏美尔人最早创造了文字,这种书写符号能保存和传达语言,扩大了在时空上的交际作用,促进了人类的文明。因此,苏美尔成了人类最早的文明中心。在公元前 4000 年代以后,在埃及出现了许多巨大的建筑工程,其中举世闻名的金字塔约始于公元前 2686 年,基于经验知识、简单的力学原理,聚集多种简单的技术,如材料技术、运输技术、雕刻技术等,采用手工工具,共建成了大小不同的 70 多座,规模最大的是第四王朝法老胡夫的金字塔,其高达 146.5 米、塔基两边宽 230 米,共用平均重 2.5 吨的石块 230 万块。大约在公元前 2500—1500 年,存在的另一规模宏大的印度河文明,也出现了巨大的建筑工程,如在印度河口以北、以南海岸为底边,朝东北延伸至喜马拉雅山脉的山麓丘陵地带,形成每边长约为 1000 英里的三角区,从中发掘出两座大城市、67 个市镇和村庄,主要是用窑内烧的砖建造的。在公元前 2100 年至公元前 1100 年,是中国夏、商王朝时期,考古发现在此时期,河南偃师县二里头有大型宫殿建筑群遗址,略呈正方形夯土台基,总面积约 1 万平方米,这是中国古代存在巨大的建筑工程的证据。

在古典文明时期,已不同于沿大河流域扩展的古代文明,而是出现了横跨欧亚大陆所形成的不间断的、相互连接起来的整体文明核心区。这主要由希腊、罗马、印度和中国文明所构成,这时的巨大工程对当时的农业、商业、军事、政治、文化、科学和技术等的发展起着重大的作用。希腊的古典时期是人类历史上三个学术发展最惊人的时期(希腊的极盛时期、文艺复兴时期与 20 世纪)之一,给人类留下了光辉的遗产。同时,它还建造了大规模的公共工程,包括灌溉系统、矿山、采石场和陶器工场等,特别是建造出精致、壮观的神庙,以及 200 多艘最新式的三层划桨战舰和大批商船。古罗马人爱好实践活动,因而在工程上作出了重要的贡献,最显著的大型工程包括建造了圆形剧场、竞技场(罗马大竞技场是 6 个赛马场中最大的一个,能容 14 万个座位)、大斗兽场、庙宇、导水管、沟渠、公路和桥梁等。在公元前 221 年,中国秦代修筑了世界闻名的长城,广袤万余里,对北防匈奴起了巨大作用;同时,统一文字,也是一巨大的社会工程,这对国家统一、社会发展起了巨大的作用。

在中古文明时期,中国、印度和阿拉伯世界处在繁荣时期。这时,农业中的商品在不断增加,手工业也很发达,尤其海上贸易十分发达。因而这时的工程主要与

水利工程和造船等密切相关,如在这一时期,仅在中国唐代的水利工程就多达 254 项。在元、明代,建造的巨大海船平均可坐 400—500 人,远洋航海工程举世闻名。阿拉伯世界也出现了造船工程,并学会了海上航行,进行频繁的海上贸易。西欧的扩张,如葡萄牙和西班牙为向外扩张,也发展了造船工程,包括哥伦布率领的船队中有能容约 100 人的帆船和麦哲伦率领的船队中有约 100 吨位的帆船等。

在农业文明时期,虽长达约 1 万年之久,其中出现了各类巨大而繁多的工程,但因其多基于经验知识、古代技术和较低的管理能力,所以发展速度很慢;在完成这些工程的过程中,其动力主要是利用自然力、畜力、人力和简单的机械力;实施这些工程主要是为达到发展农业、畜牧业、稳定的居住和军事等目标。

1.1.2.2 工业时代工程

“工业”被理解为用自然物质制造物品的事业,以此为特征所开辟的工业时代始于 18 世纪 60 年代。这时,西北欧强国荷兰、法国和英国争夺世界霸权,直到 1763 年以英国发展成为世界占统治地位的殖民地国而告终。以英国为首的欧洲能获得对世界大部分地区的霸权,并进行着前所未有的扩张,是源于科学革命、工业革命和政治革命给予了不可阻挡的推动力。因此,工业时代的工程就与科学、技术发展的水平,以及与资本主义制度的管理水平紧密相关,并推动了近代史上最重要的工业化运动,其中包括机械化、电气化和初级信息化等。这时,许多工程的集聚开拓了许多新的产业或行业,如公路工程、铁路工程(含巨型的桥梁架设工程、隧道工程等)形成了交通运输行业;越洋海底电缆工程形成了电报、电话等通讯行业;架设发送和接收无线电的电台工程,开拓了无线电通信产业;采矿工程等形成了建筑、冶炼等产业;化学工程导致了化学工业的发展;如此等等,不一而足。总之,工业时代工程普遍地利用了新的能源,如机械能、热能、化学能和电能等,并广泛地采用了新的动力机,如蒸汽机、内燃机、发电机、电动机等,构成有效的工具,特别是引入了先进的管理技术,使得工程实施合理化,使得动力机代替了人的体力,因而仅仅在大约 200 年间就实现了工业化,使资本主义社会制度得以建立并进一步地得到了巩固。

1.1.2.3 知识时代工程

20 世纪 40 年代,人类开创了知识时代,并开始进入知识社会的初级阶段——信息社会。1976 年,丹尼尔·贝尔在《后工业社会的来临——对社会预测的一项探索》一书中,对后工业时代进行了概括。实际上,后工业社会与信息社会是指同一历史阶段。在这种社会里,信息技术,即卫星通信技术、光纤技术、激光技术、机器人技术,特别是计算机技术有了迅速的发展,因而机器能代替一部分人脑的功能,信息成为社会最重要的资源,信息取代资本而成为社会中起决定性作用的因素。同时,贝尔又使用了知识社会这一概念,并指证后工业社会双重的意义上直接就是知识社会。最早,罗伯特·E. 莱因采用了知识社会这一术语;1969 年,彼得·

德鲁克在《不连续的时代》中,不遗余力地强调知识的中心地位;1993年,德鲁克在《后资本主义社会》一书中,论及后资本主义社会既是一个知识社会,也是一个组织社会,这样的社会是以知识为主的社会,充当主角的产业是知识或信息产业;1994年,尼科·斯特尔在《知识社会》一书中,综合地论及了知识社会,强调知识社会的特性是知识价值论,而不是劳动价值论。因此,我们认为,正在形成的信息社会本质上应是知识社会。在这种社会里,最根本的资源不再是资本、自然资源、劳动力,而知识才是社会、经济发展的战略性资源,是社会和文化变迁的源泉,创造财富的核心是知识创新。由此,我们将这个时代的工程集聚的产业称为知识产业,简称知业,这样的时代称为知业时代,这个时代的工程称为知业时代工程。

知业时代工程是集价值、科学、技术、管理等多要素于一体的种类繁多工程:利用新能源核能的巨大工程,如各类核电站工程,制造原子弹、氢弹工程;在航天工程中,如登月工程、空间站工程、卫星通信工程、卫星导航定位工程、卫星勘探工程等;通往人类知业时代的世纪工程“信息高速公路(Information Highway)”——“国家信息基础设施(NII)”,由通信网络、计算机、数据库等构成,能通过声音、数据、图像、文表相互传递信息,使全球成为一个具有智慧的大脑;中国建设的“四金”工程(金桥工程,即国家公用经济信息工程;金关工程,即国家外贸海关信息网工程;金卡工程,即电子货币工程;金税工程,即全国一体化税务管理信息系统工程);大型水电工程;大科学工程,如大型天文观测台,粒子物理、核物理实验工程(各类粒子加速器、对撞机等),聚变能实验工程;激光实验工程;生物工程;海底实验室工程;等等。

总之,在知业时代,充当主角的工程所集聚成的各类产业,主导生产知识或信息。

在知业时代,各类社会工程已突显出来。在逻辑上,对应自然工程,则存在着社会工程,即应用社会科学的理论,采用多种社会技术,为实现特定的目标,如改进社会制度等,形成多类社会工程。

1.2 工程系统的涵义

工程系统是复杂的人工系统或建构系统。关于工程系统的涵义,我们将采用他组织系统理论来论述,也可以采用他组织系统与自组织系统相结合的系统来描述。哈肯(H. Haken)在所著《高等协同学》一书中认为:“自组织系统是在没有外界环境的特定干预下产生其结构或功能的。”^①他又在所著《信息与自组织》一书中作了进一步的论述:“如果系统在获得空间的、时间的或功能的结构过程中,没有外界的特定制,我们便说系统是自组织的。这里的‘特定’一词是指,那种结构和功能并非外界强加给系统的,而且外界是以非特定的方式作用于系统的。”^②苗东升在

① H. 哈肯,郭志安译,高等协同学,科学出版社,1989年,第3页。

② H. 哈肯著,信息与自组织,四川教育出版社,1988年,第29页。

所著《系统科学精要》一书中,又提出了与自组织并列的他组织(hetero-organization)概念,即组织是属概念(上位概念),而自组织与他组织均是种概念(下位概念),并进一步地阐明:“组织力来自系统内部的是自组织,组织力来自系统外部的是他组织。”^①实际上,哈肯指出,自组织与他组织可以互相转化,因与果互相影响,即他组织力与系统状态变量会发生相互作用,从而可将他组织力视作整个系统的一部分,这样,就可以将他组织方程变为自组织方程。

自组织与他组织过程均是动态过程,在数学上,均需以动力学方程或演化方程描述;前者只能是齐次方程;而后者必定为非齐次方程。其一般形式为

$$dX/dt=G(X,C)+F(t)$$

其中, X 为状态向量, C 为控制向量或外环境参量, $F(t)$ 为他组织力或强迫项。一般地,一个 n 维他组织系统,若将时间 t 变为新的变量,上述方程可转化为 $n+1$ 维空间中的自组织系统;反之,在 n 维空间中又转化为他组织系统。这在《系统科学精要》一书8.3—8.4节中已有详细论述,^②并在《技术系统论》一书1.2.3节技术系统的涵义中已有引用。^③

根据上述论述,工程系统的涵义就可以用他组织系统理论论述了:

我们可将工程系统视为他组织系统,即将管理所起的支配作用转化为外部的强迫力,这时,描述他组织系统的动力学方程必定为非齐次方程,而且外部的强迫力 $F(t)$,即管理要素,通过系统内部的价值、科学和技术3个要素的相互作用,从而使系统变成有特定的结构、功能、能满足人类的需求为目标的他组织系统。也可以认为,工程系统是他组织力通过系统内部的自组织作用而形成的他组织系统与自组织系统相结合的人工系统。

在任何工程系统中,工程的属性是否能满足主体的需求,即是否具有价值,这必然要涉及价值判断以及相关的选择和评价等;在工程活动的全过程中,又必须有科学思想、原理、理论和方法渗透其中,才能使其更具有科学性和合理性;技术与工程之间有着更为直接和密切的关系,即不可能存在着脱离技术集成的工程。管理是起控制作用的他组织力,它贯穿工程活动的全过程,只有经由管理,才能整合各个要素,使之进入自组织运行状态。因此,工程系统就是自组织系统与他组织系统统一的高级组织形态。

1.2.1 工程系统的价值

首先,我们要认识,何谓价值?再进一步地论及工程系统的价值。

一般地,价值是指客体的固有属性能满足主体的需要而导致所追求的对象。因此,价值必须在客体的属性与主体的需求二者之间实现统一。价值有其客观性,

① 苗东升著,系统科学精要,中国人民大学出版社,1998年,第166页。

② 苗东升著,系统科学精要,中国人民大学出版社,1998年,第171—181页。

③ 李喜先等著,技术系统论,科学出版社,2005年,第14—20页。

包括各类物质的、精神的现象所固有的多种属性,从而才可能满足主体,包括个人、集团、阶级和社会等多方面的需求。若离开了客体的属性,价值就失去了客观基础,就无从满足主体的需求了;若离开了主体的需求和如何满足需求,则不可能有价值。在本质上,价值是一个社会历史范畴,人们的需求具有复杂性和流变性,即根本不存在永恒不变的价值,包括价值标准、选择、评价等形式。同时,就满足同一主体的不同需求而言,价值可分为物质的、经济的、科学的、技术的、工程的、道德的、美学的、法律的、政治的、文化的和历史的价值等;就满足不同主体的需求而言,价值标准,如利害、是非、善恶、美丑等,总存在着差别。一般地说,在一定的时代,人类共同的价值标准总是以社会进步、人类文明作为衡量的价值尺度,凡能起促进作用,就具有正价值;反之,具有负价值。

在价值论中,英国 W. D. 拉蒙特(W. D. Lamont)有许多独到新颖的观点。他在其著作《价值判断》和《道德判断的原则》中,融入了经济学和心理学的理论,从而形成不同于盛行的传统观点,代表了一个新的方向。在《价值判断》一书中,他强调,要区分价值判断和道德判断,以及在价值判断中绝对和相对两种不同形式。他认为,价值判断是评价的一种表现形式,评价与选择又密切相关,选择是评价的外化。只有当人们面临选择时,才会有评价的思想活动。评价遵从经济原则、代价最小的原则,也称为“机会成本(opportunity cost)”或“择一成本”最小原则。这样,对评价理论来说,机会成本就是十分重要的概念,因为价值是根据机会成本来衡量的,机会成本越小,则价值就越大。机会成本这一概念是在 19 世纪末由英国经济学家马歇尔提出的,而拉蒙特在引用这一概念时又进一步地解释:“‘机会成本’就可以定义为‘未实现的需求内容,这需求内容本来能够利用对购买力的偏爱来实现,但这购买力实际上都被用于实现另外的需求内容了’。”^①这表明,在资源有限的情况下,从事某项经济活动而必须放弃其他活动的价值。如在一块地上,种 A、B 两种作物,只能择其一,若种 A 可收入 50 元,而改种 B 可收入 100 元,这样,在这块地上种 B 的机会成本就是 50 元了,即经过比较,尽可能付出较小的代价去换取较大的经济效益。

价值判断本质上是一种复杂的精神活动,表达一种完整的心理状态,这包括认知、情感和意动的统一,而意动占有主导地位。意动倾向表现出赞同或不赞同某事物,赞同就是认为它好,价值就相当于需求的内容,主体所需求的就是有价值的。

工程活动的发端就源于能满足人类自身生存的基本需要,从而具有生存论的意蕴。可见,从工程的发生已经显露其最大价值在于能满足人类生存的需要。因此,就人类的生存意义上来说,工程的价值比技术、科学更为根本;由此引出,工程的起源早于技术,技术的起源早于科学,其时序演化结构为:工程→技术→科学;经过演化,工程越来越起着文化整合的作用,使科学、技术和工程融为一体,其逻辑结

① W. D. 拉蒙特著,价值判断,中国人民大学出版社,1992 年,第 58 页。

物:科学→技术→工程。人类经历了农业时代、工业时代,现在正在朝向知业时代迈进。相应地,工程也随之发生着巨大的变化,特别是,自工业革命以来,构成工程的各种要素也突现出来了,以致发展成为非常复杂的工程系统。正是工程系统变得越来越庞大、结构多样、功能多种,才使人们的多类需求能够得到满足,从而工程系统的价值就显露出来了。

工程系统种类繁多,几乎没有完全一样的工程系统。因此,对于不同的工程系统的形成自始至终蕴含着它本身的价值。如一个工程系统从设计直到完成的全过程出现偏差,或在结构、功能上不能如愿地满足主体(含个人、某个集团等)的需求,其价值将会不同程度地失去。

在不同时期内,工程系统的价值会发生变化。在农业时代,工程系统的价值主要是利用自然资源满足衣、食、住、行等需求,如与农业相关的水利工程,与居住相关的建筑工程,以及与交通相关的公路、桥梁工程等。由于满足生活需求比较简朴,采用的动力主要是自然力、畜力和人力所构成的机械力。因此,这时的工程系统主要顺从自然界,对自然界的索取十分有限,所产生的负面影响也很小。这样,当时的工程系统具有的正价值应大于负价值。在农业时代,人类实际上经历了原始社会、奴隶制社会和封建制社会三类社会制度,这时以社会变革、依次所建立的新社会制度等社会工程系统,尽管经历了曲折而复杂的形式,但从历史的观点判断,它们总是促进了社会进步,从而也具有重大的价值。在这个时代,从逻辑上判断,同样地存在着思维工程系统,如采取多类社会技术,对社会成员进行思想控制、实施政策、贯彻统治者的意志等,这时只不过系统所含要素尚未突显出来,但对于社会发展来说,同样也具有社会价值。

在工业时代,工程系统的价值发生了巨大变化,特别是对自然工程系统引起的价值判断,包括评价、选择等形式都变得十分复杂起来。这时,人类通过工程系统以图主宰着自然界,从而使自然界发生了空前的变化,人类的活动遍及广阔的领域,如从深达 10912 米的马里亚纳海沟直到巨大的地球空间乃至太阳系其他天体,信息工程系统成为全球的巨大神经中枢,使每个角落实现相互瞬息交流和沟通;如此等等,不一而足。虽然,现代工程系统为满足人类多种需求而产生了巨大的正价值,但是,现代工程系统为人类带来了幸福的同时,福兮祸之所伏。人类有巨大能力改变自然界,以至于干扰到超出其所能承载的能力,这必然危及人类自身在地球上的可居住性。这样,从总体上看,随着工业时代工程系统的正价值增长的同时,其负价值也在增生。但从社会历史性决定的价值标准来判断,工业时代自然工程系统的正价值总是大于其负价值的。工业时代社会工程系统的价值主要在于建立起资本主义制度,包括政治制度、经济制度,以及法律等社会规范等,这对社会发展、经济增长等起到了积极作用,即产生了重要的社会价值。在我们所著《科学系统论》和《技术系统论》中,已经论及了思维科学和思维技术,由此在逻辑上推论应存在着思维工程。它是依据科学理论,特别是更直接地依据思维科学理论,聚集语言

文字、逻辑推理和数学计算等多种思维技术而形成的人工系统。随着人类智力的发展,思维工程系统越来越起着重要的作用,满足社会发展的多种需求,从而也具有重要的价值,乃至最大的价值。

人类正在迈向知业时代,开始有了新的觉悟,正在反思工业时代工程系统所产生的负价值。从根本上说,建立工程系统是反自然的行为,特别是自然工程系统的活动。许多巨大工程系统潜伏着当下难以预料的危害,其中一些只是当自然界无情地报复或惩罚人类时,才慢慢地产生了警醒。以往存在的传统哲学,包括工程哲学,都主要论及人类认识自然是为了改造自然,强调人与自然的对立,确立人对自然的统治地位,形成了人类中心主义。在中国相当长的时期里,对这些传统哲学更有片面的理解,以至达到了极端错误的程度,如提出,“与天斗、与地斗、与人斗,其乐无穷”;“敢叫山河低头,敢叫河水让路;”“人有多大胆,地有多大产”……这些行动并没有战胜自然界。相反的,自然界以其自身的规律启示了人类,必须摒弃人类中心主义的旧价值观,确立起崭新的人类与自然界和谐一致的价值观。大体上,从20世纪下半叶开始,研究全球问题已进入国际组织和一些国家政府,其中最负盛名的罗马俱乐部提出了关于人类困境的报告《增长的极限》,为解决全球问题、建立可持续发展的理论做出了举世公认的重大贡献。与此同时,世界环境与发展委员会提交联合国的调查报告《我们共同的未来》,以及巴巴拉·沃德(Barbara Ward)和勒内·杜博斯(Rene Dubos)所著《只有一个地球——对一个小小行星的关怀和维护》、蕾切尔·卡逊(Rachel Carson)所著《寂静的春天》等“绿色圣经”,为唤醒人类增进绿色精神、环境意识起着巨大的作用。接着,环境哲学、环境伦理学或生态伦理学应运而生,引导人类开始走向新的生态文化,开创绿色文明时代,建立人类全球性新的绿色文明。由此可以预见,随着人类对工程系统的全面认识,以及科学与技术水平的不断提高,在知业时代的工程系统中,正值价将越来越大于负值价。从上述可见,在农业、工业和知业三个不同时代,工程系统的价值已经发生和正在发生着变化。而且,即使在同一时代,因不同主体的不同需求,工程系统的价值也将不同:如某一客体具有的属性,能满足某个人、某个集团的需求,从而具有价值;相反的,对其他入、其他集团显得没有太大价值,甚至是负价值。最典型的军事工程系统,对敌方有正价值,对我方则变成负价值。由此推论,凡支撑战争的军事工程,特别是具有巨大破坏力、毁灭性的庞大核武工程系统,对少数人企图统治全球而实现其欲望来说,就具有正价值,而就全人类主体而言,只能具有反人类的负价值。今天,在科学、技术和工程高度发达的社会里,人类的生命反而变得脆弱了。仅在20世纪里,两次世界大战就造成了共6.09亿人口死亡(第一次为0.97亿,第二次为5.12亿)。“在‘冷战’的年代里,全世界动用500万科技人员(几乎占全世界科技人员总数的一半),60%的世界资源准备战争。”^①在20世纪末,全球武器库

^① 尹希成等著,全球问题与中国,湖北教育出版社,1997年,第12页。

中至少积聚了 5 万件核武器,其总威力相当于地球上每人平均承受约 3.5 吨 TNT 炸药当量,足以使核大国之间互相毁灭若干次。

工程的起源原本为满足人类生存的需求,迄今已演变到了纷繁的工程系统,满足了人类多种需求,创造了现代文明。就整个人类史而言,如何从总体上评价工程系统的价值,是祸还是福?这种评价十分复杂。实际上,对这类重大而复杂的评价,历史学家、人类学家和有良知的科学家都深邃地思考过,如历史学家斯塔夫里阿诺斯(L. S. Stavrianos)在其所著《全球通史》一书中,思考了历史对我们今天的意义,特别是从历史记载中来认识人性的本质。他认为,以往战争,特别是第一次世界大战和第二次世界大战的发生,不是因为人性,而是因为人类社会。他说:“人创造了人类社会,人也可以改造人类社会。这就是人类学者阿什利·曼塔古下面这一有关人性的论断的要点:‘当然,我们生来就具有以遗传为基础的指导许多种行为的能力,但是,使这些能力变为才能的方法取决于人们接受的训练,取决于学习。……我们真正的遗传在于我们塑造自己——不是我们命运的创造物而是我们命运的创造者——才能。’”^①伟大的科学家爱因斯坦认为:“光有知识和技能并不能使人类过上幸福而优裕的生活,人类有充分理由把对高尚的道德准则和价值观念的赞美置于对客观真理的发现之上。”^②总之,人类通过工程系统能满足所有的需求,但不能满足所有贪婪的欲望。人类的前途完全取决于自己的觉悟程度和正确的价值观。

1.2.2 工程系统蕴含着科学

任何工程系统皆蕴含着科学。前已论及到,工程起源于人类生存的需要。因此,就演化的意义上而言,最早发端的原始工程必然是在生物进化过程中转变为能进行思维的人类的活动,因为只有人类能利用自然界创造预定的生存环境,并从中创立起当时当地尚不存在的事物和观念。创造能适应生存的环境,任何一个人的行动根本不可能实现,而必须是合群的社会行为才能完成。当时,无论是多么简陋的原始工程,要能满足人生存的目的,必须具有粗浅的经验知识,采用简单的多种技能,最终才能完成。而且,这类简陋的工程,无论是满足穿着、居住,还是食用,都必须天然地符合科学原理,才能成功,否则就自然地失败而不能满足需要,如为抵御寒冷,必须采用能保持温暖(热学原理)的兽皮;为有效狩猎,必须采用天然符合劈尖原理(简单力学原理)的尖端长矛;栽培植物,必须满足植物生长原理;为了居住,必须寻找能避风雨的山洞,或选择温暖的地区;如此等等。

在农业时代,人类所建造能满足生存需要的各类工程系统,随其复杂程度的增加,更必须满足多种科学原理,包括力学的、热学的、数学的、天文学的原理,乃至含有哲学(含伦理学)、美学观念。

① L. S. 斯塔夫里阿诺斯著,全球通史,上海社会科学出版社,2000年,第532页。

② 同上,第911页。

在工业时代,凡要成为成功的各类工程系统都必须在科学理论的指导下进行。凡违反科学原理的工程系统,或早或迟,总会引起某部分或子系统失败,甚至遭致整个工程系统完全失败。在现代工程系统中,凡是成功的、令人满意的工程系统,特别是某类大型的、复杂工程系统和一些精确建造的大科学工程系统,几乎都要蕴含着各门类科学及其分支学科,包括数学科学、自然科学、社会科学、哲学等大门类科学及其有关分支学科,以及最直接而密切的各门工程科学。如大型的复杂的航天工程系统,将涉及运载子系统(发射场、测控网等)、航天器任务子系统(测控网、航天器和应用等),其中仅航天器又有次级子系统(有效载荷,包括航天员、物质性载荷,如仪器设备等;航天器平台,包括服务与支持系统,如姿态控制、轨道控制、热控、测控、能源、生命保障等,以及结构平台,包括结构舱、返回舱等)。航天器在太空飞行时其质心的运动轨迹必须根据天体力学理论准确计算,才能完成飞行任务。还有,用于粒子物理研究的各类粒子加速器工程系统,如中国北京正负电子对撞机,以及用于核物理研究的重离子加速器等;用于核聚变能转化为可利用能量的大型工程系统核聚变反应堆,以及裂变—聚变混合堆等;用于天文学观测的大型观测工程系统;如此等等,不一而足。这些有精确设计要求的复杂装置工程系统,必须应用相关的科学原理,有些更需要直接应用工程科学理论指导,才可能成功。还有众多的工程系统不仅要涉及自然科学有关学科,如物理学、化学、力学、环境科学,而且还会涉及伦理学、美学、心理学等多门学科。因此,在任何工程系统中,特别是在演化至今的当代各类工程系统中,科学都自始至终地渗透其中,以致融为一体。相反的,违背科学原理的许多工程系统,一时看来,尚合人意;但长远看来,弊大于利,甚至带来灾难。

在极其复杂的社会工程系统中,同样地必须蕴含着科学理论的指引,才有成功的可能性,或者用社会学中的某种理论来解释社会工程的合理性。现在存在着三种社会学理论:冲突论、结构功能主义理论和互动论,它们都蕴含在一些社会工程或社会变迁中,用以指引人们的社会行动或解释某些社会现象。在社会发生巨大变革中,如一种社会制度转变到另一种新的社会制度的建立,这可被视为是一类重大社会工程系统从设计到实施直到完成的过程,源于马克思主义社会学中的冲突论就利于指导实施这种社会变革工程,它指出社会阶级冲突是历史的“火车头”,会导致社会变迁,是永恒的社会现象;源于奥古斯特·孔德(Auguste Comte)和赫伯特·斯宾塞(Herbert Spencer)的结构功能主义理论强调,社会每一个部分都对整体发生作用,以维持社会稳定,它指出社会像人类的机体或任何活的有机体一样,以系统方式结合在一起,社会和谐一致就能导致社会进步,这种理论有利于指导建立和谐社会的工程伟业。实际上,在社会学中的几种理论,都仅限于某一种视角,它们之间应是相得益彰的关系。这表明,我们建立一种社会制度就是构建极其复杂的社会工程系统,必须有社会科学,包括社会学、经济学、法学、政治学,乃至哲学(含伦理学等)等理论的指导,才可能建立起合目的性的和合理的社会制度。事实

上,我国在构建社会工程系统中,出现过一系列重大失误现象,主要蕴含在政策和决策系统中。这一再给我们深刻的启示:在构建社会工程系统中,正确的社会科学、哲学理论的指导作用极其重要。

在逻辑上,已存在着思维科学、思维技术,必然存在着思维工程系统,其中也必然渗透着思维科学和相关的科学理论。

1.2.3 工程系统集成着技术

任何工程系统都将经过选择而集成众多类技术。与科学系统和技术系统一样,工程系统也经历着漫长的演变过程。一般地说,工程系统集成技术的复杂程度存在着递增现象:在农业时代,工程系统中只需要和可能集成种类少和数量也少的技术;在工业时代,工程系统则集成了种类繁多、数量众多的技术;而在知业时代,工程系统中将会集成种类繁多、知识密集、环境友好、数量众多的技术。

工程系统集成技术的复杂程度递增现象可以引用在微电子技术中集成电路发展的标志“高集成度”和“高集成密度”的概念来描述。工程系统集成技术的复杂程度,既包括不同类别的技术,又包括不同数量的技术,即在任何一项工程系统中,既包含自然技术系统,又包含社会技术系统和思维技术系统,而其中还要按层次结构逐级包含其子系统,而且所包含技术的数量也有差异。如航天工程系统将集成自然技术,其中至少包含制造技术、电子技术、信息技术、光电子技术、能源技术、材料技术、生物技术等;还必须包括社会技术,如组织技术(含法规技术等)、学习技术、决策技术等;而思维技术必然渗透在工程系统中,包括用系统思维形成的概念、判断、推理等。航天工程系统下属二个次级(2级)子系统,其一是航天运载子系统,其下还包括次级(3级)子系统,即航天运载器、发射场和测控网子系统,还有4级、5级等子系统;其二是航天器任务子系统,其下包括次级(3级)航天器、地面设施和测控网配套服务子系统,还有4级、5级等子系统。这表明,凡复杂的工程系统,其集成技术的种类繁多而且数量巨大,即在同一级系统层次上的技术有“高集成度”。因此,任何工程系统在本质上自始至终就是在集成着技术。

1.2.4 工程系统突显管理所起的其他组织作用

工程系统与科学系统和技术系统有着显著的差异就在于,它必须突出管理所起的其他组织作用。

前已论及,工程系统是在人为的控制作用下才能将其要素价值、科学和技术聚集齐备,从而整合为能自动运行起来的自组织系统。工程系统的管理就是从外部施控使其达到合意的目标,这种来自系统外部的控制力,称为他组织力或强迫力。实际上,控制论、运筹学等都是发展得很充分的其他组织理论,从而也为管理科学奠定了基础。李伯聪在其所著《人工论提纲》一书中强调,称之为包括计划、方案、决策在内的“精神Ⅲ”是人工系统的起点,它指向目标,去控制着创造尚不存在的客体。实际上,

工程系统的计划、方案、决策等就是起控制作用的输入变量——他组织力。

任何有目的的活动必然存在着控制。实质上,原因导致结果就是实现了控制。这表明,控制是十分普遍的现象。在工程系统中,控制与管理的概念基本相同,只是在施控过程中加以区分:“在具体讨论中,我们通常把对一个‘死’系统(系统中不包括人)的控制(组织)过程称为控制,这里的系统多是人造的机械、设备,采用的方法、理论多为工程控制论。对于包含人的‘活’系统,其控制(组织)过程称为管理,采用管理科学方法、理论,如对学校的管理、对工厂产品的管理等。”^①在工程系统中,无论是自然工程系统,还是社会工程系统等,都有大量人员参与活动,这既涉及物理,又涉及事理,乃至人理,因而只有通过管理才能起到整合作用,控制工程系统全过程,最终达到预定的目标。

1.3 工程系统的特性

工程系统的特性是指它独自具有而其他系统如科学系统或技术系统所不具有的特殊属性或性质。工程系统的主要特性主要表现为专一性、一次性、目的性、干预性等。

1.3.1 专一性

任何工程系统都是为了满足人们(用户)的需求而构建的人工系统。由于要适用于各个特殊的用户,包括个人、不同集团,乃至不同国家,因而每项工程系统的科学含量、技术集成程度、规模大小、工期长短等都呈现出差异,不可能存在完全通用的工程系统来满足不同用户千差万别的需求,而只能建立专项的工程系统。

1.3.2 一次性

任何工程系统的建立,都要受到时空的限制,因而不可能完全一样。即使是建立跨江河的桥梁也是唯一的或一次性的工程系统,如重庆长江大桥就不同于南京长江大桥,因为两者所处的地理位置不同,当地的地形地貌、地质结构、江面宽度、江水流速等均不同,因而两者各具有唯一性,不可互相代替。各类社会工程系统,其性质也是各个特殊,不可能套用和通用。

1.3.3 目标或目的性

任何工程系统都有明确的预定要达到的特殊目标。通常,我们将实现了的目称为目标,即目的的具体化,因此,工程系统总是要通过控制或管理而达到目标。工程系统显著的特性就是有预计目的的目系统,而且从“精神Ⅲ”起始,就在工程师群体为主体的头脑中,即在思想或“概念空间”中已形象地存在着,往往以蓝图等

^① 许国志主编,系统科学,上海科技教育出版社,2000年,第174页。

信息形式显示其终端图像,指导着实际行动,关于人工目的系统的特性,马克思早在《资本论》中就有过精辟的论述:“蜘蛛的活动与职工的活动相似,蜜蜂建筑蜂房的本领使人间的许多建筑师感到惭愧。但是,最蹩脚的建筑师从一开始就比最灵巧的蜜蜂高明的地方,是他在用蜂蜡建筑蜂房以前,已经在自己的头脑中把它建成了。劳动过程结束时得到的结果,在这个过程开始就已经在劳动者的表象中存在着,即观念已经存在着。他不仅使自然物发生形式变化,同时他还在自然物中实现自己的目的,这个目的是他所知道的,是作为规律决定着他的活动的方式和方法的,他必须使他的意志服从这个目的。”^①同样地,社会工程系统也是具有目的性的人工系统。社会系统就是目的系统,而且是生物系统演化导致的最高层次的目的系统。在动态系统理论中,已发现了目的性这一动力学特征,并用“吸引子”概念来描述系统的目的性。

1.3.4 干预性

由于工程系统具有突出的满足人类需要的目的性,因而要创造出自然界尚不存在的客体,其本质是“反自然”的,必然带来对自然的干预,并随着人类一步步地进入Ⅰ型、Ⅱ型和Ⅲ型文明^②,其干预程度将越来越大。就现代人类建立的各种工程系统已经改变了人类居住的本星球全貌,并已开始进入Ⅱ型文明,如干预本星球的卫星月球乃至内地行星火星的现状,包括建立月球基地、开发月球资源,以及火星探测和开拓天疆构想等。

人类通过建立社会工程系统,也对社会、国际社会产生重大的干预作用,包括建立不同的社会制度,如政治、经济和军事系统等,从而引起人类的和平与战争、合作与竞争、贫穷和富裕等人为现象,以及使人类产生复杂的心理状态。

1.4 科学系统、技术系统与工程系统

在普遍存在的种类繁多的系统中,我们抽象出了既有互相区别而又有密切联系的3个系统:科学系统、技术系统与工程系统。它们在研究的客体、主体、方法、结果、目的、评价、社会功能和社会价值等方面存在着显著的差异。

1.4.1 相互区别

1.4.1.1 科学系统

(1)研究客体:狭义的自然系统或天然系统,即以天然物为要素的系统,包括生

^① 马克思著,资本论,人民出版社,1975年,第1卷,第202页。

^② 有些天文学家把文明分为三种类型:Ⅰ型文明是只能控制本星球的文明,人类文明就属于此类型;Ⅱ型文明是能掌握整个恒星和所属行星系统的文明;Ⅲ型文明是掌握整个星系的文明(中国大百科全书,天文学,中国大百科全书出版社,1980年,第60页)。

命界与非生命界,如天体系统、粒子系统、生物系统等;人类社会系统;思维系统;符号系统,如数学、语言等。

(2)研究主体:科学家,包括自然科学家、社会科学家、数学科学家、哲学家等,他们组成科学共同体和各类专业科学共同体,即形成科学社会。

(3)研究方法:一般地,按其抽象和适用程度,可分为:①哲学方法,②各门科学采用的一般方法,③各门具体学科采用的专门方法和④经验层次的特殊方法,共有4种。其中将③作为最主要的方法,包括采用实验、观察、观测、提出假说、抽象出理论、科学计算以及系统论方法等。

(4)研究起点:不断地提出各种科学问题。

(5)研究结果:对客体的认识而形成的系统知识,即构成科学结构,这表现为科学概念、定律、理论、学术论文和学科等,即具有逻辑结构并经过一定实验检验的概念系统、理论系统,其中包括不可检验、不可重复实验的新型理论,以及各门学科和多门类科学(自然科学、社会科学、思维科学、数学科学和哲学及其交叉科学等),包含基础科学、应用科学、工程科学等。因此,科学知识具有系统性,认识的结果具有普遍性、客观性和真理性逼近真理。

(6)评价标准:只有正确与谬误之分,绝对正确与相对正确之分,能否正确回答客体是什么、为什么。

(7)研究目的:科学发现,规律的揭示,理论的建立,对客观现象的解释和预见,扩充正确无误的知识。而且,将普遍的科学知识作为人类公有的精神财富。

(8)社会功能:科学活动或科学系统的行为对社会环境系统能引起许多重大的变化,从而对人类社会的发展具有多种功能,包括:①认识功能,即对自然界、人类社会有深刻的理解,提高智力水平,确立起正确的世界观、自然观;②文化功能,即形成精神文化,包括科学文化与人文文化,以及新的科学人文文化;③社会变革,即引起社会进步,引领社会向合目的性的高级社会发展;④促进生产方式的变革,从而推动生产力向高水平方向发展。

(9)社会价值:主要能满足人类的精神需要,以产生智慧,区别于其他动物,确立起人类在自然界中的地位,并以自己具有的智慧思考一切。科学价值是中性的,只是在应用时才存在似“双刃剑”的两重性,既能造福于人类,又能破坏乃至毁灭人类。

(10)自组织特性:科学系统主要由认识要素(子系统)和知识要素(子系统)构成的自组织系统。在相同的客观条件下,由认识系统导致知识系统是自然的自组织现象,即能实现其自身的结构化、组织化、有序化和系统化。把客观条件视作自然规律或客观环境的控制作用,这正如天气条件控制着植物生长一样,而不作为人工控制的他组织作用。类似地,科学哲学家波普尔(K. R. Popper)在“三个世界”的理论中提出,由“世界Ⅱ”导致“世界Ⅲ”,即精神活动的世界导致精神产物的世界,如蜜蜂采花粉的活动产生出蜂蜜一样。总之,由“世界Ⅱ”创造出“世界Ⅲ”,也再现

了科学系统中认识导致知识的自组织原理。

1.4.1.2 技术系统

(1)研究客体:一般地,指人工自然界或人化自然界,以及人类社会中的组织、法律、制度、管理等。

(2)研究主体:技术专家或技术家,包括自然技术家、社会技术家、技术哲学家、技术社会学家等,他们组成技术共同体和各类专业技术共同体,如中国电子学会等,即形成技术社会。

(3)研究方法:实验、观察、调查、操作、提出原理和方案、建立模型等,以及在技术方法论的指导下形成的技术发明法、技术设计法、技术开发法、技术预测法、系统设计法等。

在许多方面,正与科学的研究方法相反,如从一般到个别、从普遍原理到特殊原理、从理论到经验,主要采用想象、综合的方法来建构客体。

(4)研究起点:不断地解决技术目的及其手段间的矛盾性,如技术目的的实现源于技术手段,而技术手段的发展又变成了技术手段自身的目的。

(5)研究结果:为了对自然界、人类社会和思维进行改变和控制而转变为技术目的,形成了计划、设计方案、规程(规范、规章等)、准则、程序和标准等,以及经验知识、技术原理,即关于如何做、做什么等知识。

(6)评价标准:成功与失败,实用与不实用,有效与无效。

(7)研究目的:最直接的目的是技术发明、技术创新、制度创新、体制创新和管理创新等,最终目的是为了满足不同人类的多种需要。而且,在一定时期,某些技术知识以专利形式而具有私有性;但从根本上说,也会转变为公有性。

(8)社会功能:①首先,直接对经济发展起着推动作用;②对社会发展产生深刻的影响,特别是使人们的生活方式发生巨大的变化,以至会引起社会的变迁;③对于政治、法律、国际关系等带来重大的影响;④对国家安全,特别是新军事革命,起着决定性的作用;⑤在社会文化系统中形成技术文化。

(9)社会价值:从根本上判断,技术与科学一样,呈价值中性,而强调技术的两种属性,即既具有自然属性,又具有社会属性,同样地是不正确的。只是在技术应用时,似“双刃剑”的两重性才因善恶的目的而显露出来。

(10)自组织与他组织融为一体的特性:技术系统是由表现为目的输入要素、按程序进行的转换要素和最后表现为结果的输出要素所组成的有机整体。其中表现为目的输入量变成系统外部的控制作用或强迫力,就是他组织力,并通过转换和输出两要素形成的自组织系统而达到系统的目的。因此,技术系统是自组织系统与他组织系统相结合的系统。若将输入要素视作系统内部的“序参量”,则技术系统就变为自组织系统,就实现了将他组织系统转化为自组织系统来研究,并可进一步地实现他组织与自组织的相互转化。

1.4.1.3 工程系统

(1)研究客体:人工自然系统,即给自然界打上了印记的人工系统,也可称为第二自然系统;研究社会系统,包括对社会制度、社会组织、社会文化的建构,形成最高层次的人工系统;人工系统与自然系统重合和嵌套而构成的复合系统。

(2)工程活动主体:工程专家(工程家)、工程师、工人、投资者、设计师群体(总工程师、总设计师、总指挥等),还有工程哲学家等,他们组成工程共同体和各类专业工程共同体,如各类工程协会等。

(3)建造方法:尽管建造的各项工程系统千差万别,但采用的方法总有其共性,最主要的方法就是系统工程,或称为系统分析、系统方法。在方法论的意义上,这种发展比较充分、被广泛采用而有效的方法,相当于一般科学方法,即第二个层次或中间层次的方法。这种方法在自然工程系统(工业、农业、企业、能源、运输、生态环境等工程系统)和社会工程系统(经济、军事、智力开发、教育、发展战略制定等工程系统)中得到普遍应用,实际上是信息论、控制论、运筹学等在工程系统中的应用。

(4)工程起点:始于用户各类需求而制定的计划,包括个人、集团、不同国家等各自的多种需求而形成各类计划。

(5)建造结果:人工建造的物质性客体和精神性客体,前者包括已形成的种类繁多、各自特殊、非重复性(区别于生产)的物质性工程,如铁路工程、桥梁工程、加速器工程、登月工程,而后者包括许多社会工程,各类社会组织、社会制度、法律制度(宪法等),如希望工程、引智工程。

(6)评价标准:成功与失败,基本成功与部分失误,实用与不实用,有效与无效,可行与不可行,正常运行与不能运行。

(7)目的或目标:如期地将研究客体通过转换成能满足不同用户所需要的人工系统(产物)。

(8)社会功能:①归根结底,人类生存、发展、延续都只有依靠纷繁的工程系统才能实现。人类认识客观世界,其最终目的在于塑造人工世界或人工自然界,人类既生存在天然自然界,又生存在自己建造的自然界,或更直接地生存在人工自然界。②人类只有通过各类工程系统才能形成各类产业,从而导致生产,最终变成物质财富和精神财富。

(9)社会价值:从本源上判断,工程系统的价值与科学系统、技术系统的不同。一方面,它从一开始就在应用科学和技术,从而不具有价值中性,即具有“双刃剑”的两重性,这取决于工程系统计划的目的性,是有益于或有害于使用者或功能对象;另一面,即使从善意的计划开始,因人类理性的局限,当下无法预见,从而导致恶果。因此,在总体上,工程系统福祸并存:有些是福祸均等,有些则是祸大于福,这往往是人们充斥着贪婪欲望的任意膨胀,误判自己力量的无限性,可以剥夺、主

宰自然界,导致精神迷失,最终引起天灾与人祸;大多数还是福大于祸,为人类带来巨大的正价值,特别是自 20 世纪下半叶以来,人类从祸中反思,有了新的觉醒,进而确立起新的工程观,“首先,转变与自然的关系,自觉寻求人与自然的和解。从思想上来看,必须把自然对人的他在(外在)性的对待关系转变为内在性的属我关系:认识自然界不仅‘是人的精神的无机界’,而且‘是人的无机的身体’。”^①

(10)自组织系统与他组织系统相结合的典型系统:工程系统必然地是自组织系统与他组织系统相统一的人工系统。在任何工程系统中,系统诸要素内在的自组织行为与外在的他组织控制作用,两者不可或缺,前者必须通过后者才能涌现出来,而后者必须通过前者才能起作用。哈肯常把激光器看作处于自组织与他组织边界上的系统,因原子之间协同作用,进入自组织状态,还是人工控制参量到相变阈值时才形成的。在动态系统理论中,可用动力学非齐次方程描述他组织力的存在,即有驱动项或强迫力表示外在作用力。

1.4.2 相互联系

科学系统、技术系统、工程系统三者既有显著的区别又有密切的联系。三者有相互区别和需求,这是联系的前提;若三者之间不存在区别,就没有必要存在着相互联系,因此,联系就存在于三者之间的相互依赖、相互制约、相互渗透和相互转化。虽然,三者之间都存在着联系,但是,其联系的程度却存在着差异,科学系统与技术系统之间的联系更为直接和密切,而与工程系统的联系变为间接和不十分紧密;工程系统与技术系统之间的联系更为直接和密切,而与科学系统的联系变得间接和不十分紧密;从技术系统出发,与科学系统、工程系统的联系均直接而密切。由此可见,技术系统突出出中介或桥梁作用,将一端的科学系统与另一端的工程系统连接起来,形成一个三联体。实际上,这个三联体的相互联系或相互关系是十分复杂的。这若建立数学模型,就变成类似天体力学中的二体问题和三体问题,而三体问题是迄今尚未解决的难题。同样地,要能说清科学系统、技术系统和工程系统三者的关系更是复杂的难题了。不过我们从历史演化的视角,还是可以辨析它们之间的联系:从满足人类生存的关系而论,首当其冲,自然地是工程,因而发端于工程,随后才演化出各类技术,再出现科学;从实践论和认识论视角,也是先有实践活动,再产生与经验知识相关的各类技术,再上升到与理论知识相关的科学。因此,就历史演化结构的联系:工程→技术→科学。接着,在演化中又出现了转折点,人类理性认识呈加速度发展的趋势,以致在工业时代,特别是在 19 世纪中叶,技术与科学(含自然科学和社会科学等)的关系变得密切起来了,如果说,在此前是科学更多地得益于技术,此后便是技术更多地得益于科学。这样,科学与技术的关系是在历史演化中而不断地发生着变化的,以致出现了技术科学化、科学技术化,它们之

① 张秀华,工程的“罪”与“罚”,科学时报社,2005 年 10 月 14 日,第 B2 版。

间要素的交集也在不断地增多,乃至出现了科学技术一体化的趋势,科学与技术的交叉也出现了,而且交叉跨度在不断地增大、交叉方式也复杂化了。迄今,现代科学、现代技术和现代工程都进入知业时代,从历史演化的趋势,我们越来越洞察到,工程越来越起着文化整合作用,显示出的逻辑结构:科学→技术→工程。这表明,科学、技术的涌流汇入了工程的海洋。在这里,科学要素、技术要素和工程要素都汇聚成庞大的“水体”。

总体上,工程既是源又是汇,技术和科学是从源头衍生出的千万条江河,最终都融入工程海洋:工程系统 $\rightleftharpoons$ 技术系统 $\rightleftharpoons$ 科学系统。

1.5 工程系统论与系统工程学的区别

系统是广泛地存在于自然界、社会和思维之中的普通现象。采用现代科学思维方式,运用现代科学方法研究一切系统形成的普遍原理,称为一般系统理论。我们运用一般系统的概念、理论和观点,从普遍存在的种类纷繁的系统中,抽象出复杂的科学系统、技术系统、工程系统和知识系统,将其作为研究对象,研究其组成要素、结构、功能、进化和环境等,得出一些规律性的认识,从而形成特殊的系统论,称为科学系统论、技术系统论、工程系统论和知识系统论(待定)。

1.5.1 工程系统论

实际上,工程系统论研究一般工程系统,并不研究各类别的专门的工程系统。因此,它是一般工程系统论。

我们建立的工程系统论,是适用于各类专门工程系统的普遍理论。一般工程系统是通过管理起着他组织作用,将系统要素价值、科学和技术组织起来,形成特定的结构,从而对社会环境产生特定的功能,最终达到满足人类多种需求的目标。因此,工程系统论主要是论及自组织系统与他组织系统相结合的系统理论,即人工系统理论。

1.5.2 系统工程学

目前,存在的几种系统工程学都属于系统科学本身的层次结构中的第四层次——工程技术。系统科学含有四个层次:①系统科学哲学(系统观);②系统科学的基础科学(系统学);③系统科学的技术科学(应用科学,如信息论、控制论、运筹学等);④系统科学的工程技术——系统工程、控制工程、信息工程等。

系统工程学是一般工程学如工业工程学等的发展,是在一般工程中应用系统方法以求实现系统最优化的一门学科,主要是适应大系统的优化而发展起来的理论,有人称大系统理论为第三代控制论。

1967年,H. Chestnut 在其所著《系统工程学的方法》一书中指出:“系统工程

学是为了研究由多数子系统构成的整体系统所具有的各种不同目标的相互协调,以期系统功能的最优化,最大限度地发挥系统组成部分的能力而发展起来的一门科学。”

目前,对系统工程与系统工程学尚无一致的合理的定义,有时将二者混为一体。如将系统工程理解为组织管理技术、工程技术和方法,也有将系统工程、系统方法、系统分析视作同义语。

苗东升

2. 工程系统的结构、环境与功能

现实存在的工程都是具体的,我们把一个个具体工程称为工程个体或个体工程。本章只考察个体工程,不涉及一个社会的所有具体工程之集合,即全体工程,或工程全体。每个个体工程都是系统,作为系统的个体工程都是特殊的,须通过考察各自特定的要素、结构、环境、功能来认识这些系统的特性。但特殊性中有一般性,作为工程系统论的基础知识,本章拟通过对大量个体工程的概括,给工程作为系统的要素、结构、环境、功能以一般性的阐述。

2.1 工程系统的结构

2.1.1 工程系统的结构概念

严格说来,系统分析中讲的要素和结构是两个紧密联系而又不同的概念,要素仅指系统的基本的或主要的组成部分(硬要素)或构成因素(软要素),结构仅指要素之间的联系方式的总和。在有些情况下,可以把系统要素的划分与要素之间关联方式的总和一起当作结构。本书采用这后一种处理方法。

最早把工程当成系统来考察的是系统工程学者。所谓系统工程,就是按照系统科学的原理和方法组织管理工程活动的科学思想和技术。系统工程中著名的霍尔三维结构也适用于一般工程系统,凡工程均可按照时间维、逻辑维、知识维分别考察其结构。国内最早提出工程系统论概念的是王连成,他把工程系统论界定为“以一般系统论为指导的工程理论”^①。工程系统的要素划分有多种可能方案。王氏专著《工程系统论》只讨论工程系统的要素划分,列出8种要素,没有明确提出和讨论工程系统的结构问题。但书中关于工程对象系统、工程过程系统、工程技术系统、工程管理系统、工程组织系统和工程支持系统的划分,蕴涵着工程系统的一种结构分析方案。钱学森则认为,工程作为系统有6个基本要素,即“人、物资、设备、财、任务和信息这六个要素,都要满足一定的制约”^②。他们的共同点是注重从工程这种社会现象中人的活动和物的流动来考察工程的系统性。本书则试图尽量撇开人的活动和物的流动,把工程理解为知识的集合体及其相互联系和演变,着眼于知

① 王连成,工程系统论,中国宇航出版社,2002年,第10页。

② 钱学森等,论系统工程(增订本),湖南科学技术出版社,1988年,第15页。

识的运用、流动、组织、管理来考察工程的系统性。我们认为,具体的工程千差万别,工程系统论必须撇开工程的各种具体特性,只考察一般意义上的工程,揭示那些适用于一切工程的系统原理。本章的任务就是对一般工程系统的要素、结构、环境和功能进行分析。

较为大型复杂的工程系统需要从不同维度划分要素,以便多侧面地了解工程作为系统的特征。系统结构分析的一条原则是,按照不同维度划分出来的要素应当分别讨论,不可并列起来,否则将造成概念混乱。王连成认为,工程系统由用户、目标、资源、行动者、方法与技术、过程、时间和活动 8 个基本要素构成,把工程系统定义为由这 8 大要素共存于一个工程框架内而形成的相干整体。这样处理就有概念混淆之虞。其一,客户(用户)不是工程系统的构成要素,而是它的环境要素。更确切地说,客户属于工程系统外在的功能对象。其二,包含于行动者中的供货商也不是工程系统的要素,而是与系统关系密切的环境要素。其三,过程和活动都是在时间维中描述系统的概念,但二者属于不同层次,过程是由一系列活动构成的,在工程全过程和工程活动之间通常还有不同层次的工程子过程,活动则是最低一级子过程的要素,即整个工程系统的最小要素,具有不可再分性。

下面分别从知识维、过程维、信息维和价值维来考察一般工程系统的结构。

2.1.2 工程系统的知识结构

第一章已经指出工程系统的四个基本要素,即技术知识、科学知识、管理知识和价值观念。这是按知识维给出的工程系统的要素划分。这四个要素在工程系统中的不同作用及相互关系的总和,就是工程系统的知识结构。

(1) 技术知识

在工程系统的四要素中,技术知识占有最突出的地位。如果说凡改变环境的行为都是工程,那么,高等动物都有工程活动,其差别在于人类的工程活动一开始就或多或少带有技术的因素或成分,动物的工程活动则没有技术因素,仅仅是一种本能活动。近代社会以来,一项工程可以没有科学知识的独立参与,但在工程的每一步上或每个环节中都不能没有技术知识的参与,而且技术成为工程品质高低的决定性要素。创新工程必定有技术的创新,且主要表现于技术创新,工程作为系统的进化主要得力于技术的进化。

(2) 科学知识

一种观点认为,科学只能以技术为中介进入工程,因而不是工程系统的独立要素。的确,科学知识大量通过技术知识而进入工程系统,通过技术要素中的科学含量对工程发挥作用,这类科学知识不是工程系统的独立要素。但在近、现代工程中,科学知识同时也越来越多地直接进入工程活动,逐步成为工程系统中有别于技术知识的独立构成要素之一。在中国的两弹研制工程中,那个著名的原子物理学家群体的理论研究起了决定性作用,他们的工作当然与工程的技术实现密切联系

着,属于应用科学的理论研究,但毕竟是科学原理方面的研究,不能划归技术范畴。复杂控制工程的原理设计和试验研究中必须应用控制论原理,也是科学知识直接进入工程的事例。工程的技术实现中常会碰到瓶颈问题,有些瓶颈只需技术创新即可突破,有些瓶颈必须靠科学理论创新才能突破。一般地说,越是具有创新性的工程,越需要更多地求助于科学理论知识。

(3) 管理知识

凡工程都有管理,而且贯穿于工程活动的始终。作为个体劳动的简单工程已有管理,即不同事项或工序的安排,只不过工程管理者与工程操作者没有明确区分开来。多人分工合作从事的工程必有专职的管理,大型复杂工程必有专职管理者群体,由他们组成工程系统的一个重要子系统,即工程系统自身内在的调控子系统。在以团队为主体的工程系统中,每个成员都承担一定的管理工作,至少要对自己职责范围的不同活动、工序做事前安排和事后检查,跟有关方面的衔接、协调,都属于管理。这就使管理成为工程系统与生俱来的另一基本构成要素。知识包括理论知识、技术知识和经验知识三种形态。科学、技术、管理三要素互有交集,在现代科学技术中,管理理论既属于科学,也属于管理;管理技术(核心是系统工程)既属于技术,也属于管理。在本书中,我们把管理理论、管理技术、管理经验和管理智慧都划归工程系统的管理要素(管理作为子系统的构成要素)。在没有管理科学和管理技术的时代,工程管理完全靠经验、艺术和智慧,在有了管理科学技术的今天以及今后,管理经验、管理艺术、管理智慧仍然是不可或缺的,复杂工程尤其如此。正因为这样,管理才是工程系统的独立要素之一,不宜把它划归于前两个要素中。

(4) 价值观念

价值观既是意识形态,也是一种知识形态的存在。但在人类的知识总体系中,价值观念属于高层次的理性因素,有别于一般形态的知识。本书不大讲价值知识,主要讲价值观念,意在强调它比其他三种知识更具有意识性,操作性更少。科学系统中已有价值观念的作用,《科学系统论》第2.1节讲的基旨,即科学活动中不可忽视的信念、预想等因素,实际上也属于价值观念。在技术系统中,价值观念进一步上升为重要因素,《技术系统论》一书已有所涉及;但唯有在工程系统中,价值观念才取得支配地位。一切工程活动都是在价值观念驱使下启动和展开的,并贯穿于工程系统的每个步骤和环节中。

在工程系统的四要素中,价值观念是软要素,其余主要是硬要素;在三种硬要素中,科学知识和技术知识是系统的构材件,即建筑砖块;管理知识则是组织件,即连接件或粘合剂,其功能是把不同构件组织整合在一起,形成系统整体。从知识运动角度看,一项工程从开始到结束的全过程所要完成的工作,一是从外在于工程的科学系统、技术系统和文化系统中选择所需知识,二是把选择出来的大量分散无序的知识组织、整合成一个高度有序的系统,以实现该工程系统的价值追求。尽管价值观念在工程系统中的作用常常是隐蔽的或潜在的,但决定选择哪些知识的深层依据是价值观念,工程的价值目标不仅从根本上限定了哪些知识是本工程所必需

的,而且也规定了哪些知识是本工程不必或不得使用的,宗教信仰、伦理道德、政治立场的限制尤其明显。负责对所需知识进行整合与组织的是管理,工程系统实际上是通过理论分析、技术设计、施工操作的组织管理而实现对分散无序的知识进行整合、组织的。工程的价值理念和追求也主要是通过组织管理才得以贯彻落实的。一般系统论的创立者贝塔朗菲指出,系统演化有一种中心化趋势,众多要素中逐渐分化出一个主导要素,它能够影响和支配所有其他要素和系统整体^①。管理就是工程作为系统的主导要素,存在专职的管理者乃是工程系统进化的结果,是工程作为典型的他组织系统的重要标志之一。

如果把工程系统看作一种网络,那么,网络的节点是各种各样的科学知识和技术知识,网络连线则是价值观念和管理知识。但管理知识起的是显在的连接作用,原则上可以用几何形式直观表示出来;价值观念起的是潜在的(隐蔽的)连接作用,无法直观表示。基于以上分析,可以把工程系统定义为4元组,(式2.1)或用框图表示为图2.1。鉴于有些要素相互作用的两个方向具有显著的不对称性,忽略其弱作用方向,表示为单箭头;实线表示显在的作用,虚线表示潜在的作用:

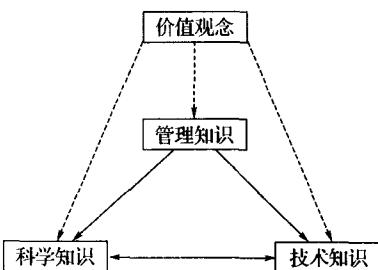


图 2.1 工程系统的知识结构

$$\text{工程系统} = \{ \text{价值, 科学, 技术, 管理} \} \quad (2.1)$$

四要素在工程系统中的不同功用可简要表述为:价值决定工程的目的性,科学决定工程的合理性,技术决定工程的可行性,管理决定工程的有效性。

2.1.3 工程系统的过程结构

工程活动的展开表现为一个不可逆的行为过程,也是知识流动的过程,有明确的起点、中间点和终点,形成特定的过程结构。一项完整的工程由前后相继的四个环节构成,它们是:工程立项,规划设计,施工操作,评价验收。四个环节也是一项完整的工程活动中所需知识的收集、选择、整合、组织、创新的四种形式,或前后相继的四个知识集群。我们从知识运动的角度来讨论这四者的分工和关联,即工程系统的过程结构。

(1) 工程立项

科学源于问题,工程源于需求。但需求是客户(确定的或可能的)提出来的,客户既然不是工程系统的内在组成部分,需求也就不是工程的起点,而是推动工程系统运转的外部动力源^②。或者说,需求是连接环境和系统的界面,只有把客户的需

^① 冯贝塔朗菲,一般系统论:基础、发展和应用,林康义、魏宏森等译,清华大学出版社,1987年,第66—68页。

^② 客户需求是工程系统的外在组织力,工程的整体目标是由客户需求决定的,这从另一角度表明工程系统是典型的他组织。

求表述为工程项目,并且用经过认证的合同或契约肯定下来,才算进入工程系统的边界以内。所以,立项是工程的真正起点。工程立项需要科学理论知识,越是具有重大创新性的工程立项,越需要新颖而深刻的科学理论知识,并且要善于把科学理论转变为工程设想,关键的知识是工程智慧,而非一般知识。科学保证立项的正确性,技术保证立项的可行性,工程立项应用的主要是技术知识,技术上是否可行乃是能否立项必须考虑的关键因素。

(2) 规划设计

在四大环节中,知识密集度最高的是规划设计,对工程的品质起“灵魂”的作用,一项工程系统的特色和创新性主要取决于规划设计。如果设计方案是平庸的,无论施工操作多么完美,产品必定是平庸的。规划设计本身是一种技术活动,工程系统所需技术知识大量通过规划设计才得以进入系统,而所需科学知识也主要是通过规划设计才进入系统的。规划设计的高低优劣主要取决于工程智慧和工程科学。同样的科学原理,许多人都懂得,但最先把它转变为工程设计思想和具体方案的总是少数人,这表现出工程智慧高低的显著差别。

(3) 施工操作

工程活动的本质或核心环节是施工操作,而非设计。设计给出的只是观念形态的产品,再好的设计如果不付诸施工,也不过是纸上谈兵,真正的工程并未开始,还算不上工程系统。从知识维看,构成施工阶段的要素主要是技术知识和管理知识,科学知识在施工中基本是通过技术知识而发挥作用的。进入工程系统的是所谓现场技术,包含相互衔接的两部分,一是一般技术知识,或前工艺技术知识,二是工艺知识。在规划设计阶段发挥作用的主要是前工艺技术,在施工操作阶段发挥作用的主要是工艺技术。管理知识作为工程系统的构成要素,在每个阶段都发挥作用,贯穿于工程过程的始终,但管理知识的决定性作用是在施工中发挥的。

(4) 评价验收

此一环节是把工程主体和客户联系起来的另一界面,价值观念通过它而重新由潜在因素上升为显在因素,发挥导向作用。但在评价验收中起决定性作用的是技术知识,关键是对工程的品质、性能作出技术上的评论判断,而科学知识和管理知识退居后面。

上述讨论可用框图 2.2 表示为:

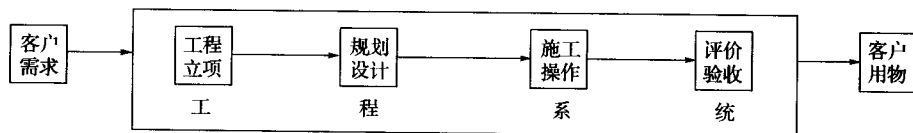


图 2.2 工程系统的过程结构

或者表示为(见图 2.3):

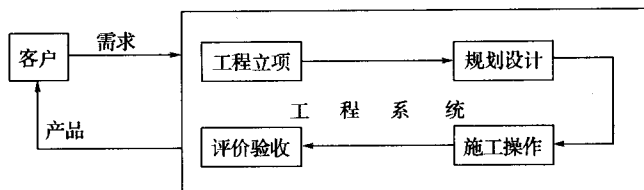


图 2.3 工程系统的过程结构

如果把工程活动表示为点,把不同活动之间的联系及其方向用有向线段联系起来,就形成一种具有拓扑特性的网络结构,一种工程展开的路径图。系统工程指明,在一项工程的大量不同的行动路径中,必有一条是关键路径。理清路径图的结构,区分关键路径和非关键路径,抓住抓好关键路径,才能保证整个工程顺利完成。

过程结构往往也是逻辑结构,不同子过程之间、不同活动之间的因果关系,或不可逆的时间顺序,都是逻辑关系。

2.1.4 工程系统的信息结构

系统论认为,信息是系统的组织力,通信是系统的粘合剂,系统的诸多部分通过信息的交流变换而组织成为一个整体。这一观点完全适用于工程系统。工程系统既有工程客户和工程主体(承包者)之间的通信,也有设计者与施工者之间、不同施工者之间的通信,以及施工者与管理者之间的通信。工程活动中的信息联系和运动不止通信一种方式。我们把有关信息的各种操作,包括信息的获取、表示、固定、编码、译码、加工处理、传送、转录、翻译、存储、提取、通信、控制、消除等等,统称为信息作业。这些作业都出现在工程活动中,立项、设计、施工、验收代表四个不同的信息作业群,整个工程过程就是各种复杂信息作业的集成体。有信息作业,就可能有新信息的产生,每项工程都产生自己独有的信息。工程活动各部分之间的信息联系和信息运动的方式,亦即工程活动中不同环节之间的信息关系的总和,包括各种信息作业的管理,统称为工程系统的信息结构。下面着重从信息的产生、联系和运动的角度来解释图 2.2 所示工程系统的过程结构。

(1) 工程立项

工程立项是工程客户和工程主体之间的直接通信过程,是把客户需求这种工程系统的外在信息转变为系统内在信息的第一站。客户的需求信息一般是用非工程语言表达的,工程立项就是用工程语言编码表达客户的需求信息。这里的基本要求是准确而全面地解读用户的需求信息,特别是那些深层次的精微的信息,客户自己常常说不完整,说不清楚,有些甚至未明确意识到,需要在工程主体的帮助下明确完善起来。从客户需求到工程立项绝非仅仅是个信息码符的翻译问题,还有新信息的创造,立项需有创意,新创意就是新信息,有重大创新的工程必有大创意。立项有无创意,创意的水平如何,主要取决于工程主体的科学素养和技术水平。

(2) 规划设计

立项只是用最概括的工程语言给客户需求以总体的笼统的编码表述,把客户需求这种工程系统的外在信息转变为其内在信息的决定性环节是规划设计,它的任务是用工程主体的专业语言创建观念形态(信息形态)的工程产品。挖掘工程项目内在的深层信息,也就是选择适当的科学技术知识(信息),以建构一个符合客户需求的观念形态的存在物。所谓工程创意最集中地体现在规划设计中。规划设计主要是工程主体内部的信息作业,把立项中的价值承诺转变为技术承诺,去指导和约束施工环节的信息作业。工程进入规划设计环节后,价值观念开始潜入工程活动的深层结构中,只通过表层的技术承诺发挥作用。大型复杂工程的规划设计者常常需要同客户继续对话,反复交流,反复修改设计,以保证把客户的需求信息用具有可操作性的工程语言完整、准确、详尽地表达出来。

(3) 施工操作

施工操作基本上是设计方与施工方之间、不同施工部门之间、管理者与操作者之间、施工者与施工对象之间的通信过程,目标是把信息形态的技术承诺准确而全面地转变为可以实际测试的技术性能,把观念形态的建构变成实在形态的产品。

(4) 评价验收

工程评价是借用产品的性能指标这种特殊语言进行的信息活动,并把它翻译成客户可接受的语言,相当于通信过程的译码活动。

申农给出了著名的通信系统模型,由信源、编码、信道、译码、信宿和噪声六大环节组成,如图 2.4 所示。如果把客户作为一身二任的信源和信宿,那么,工程立项可以比作通信系统的信源编码,规划设计可以比作信道编码,施工操作相当于信道传输,评价验收相当于译码,而工程从立项到产品验收的全过程中各种干扰、失误、曲折等就是工程系统难以避免的噪声输入。外在的科学技术系统相当于通用的信码符号系统和编码、译码理论,供编码和译码使用。信源编码的基本要求是编码表达的有效性,信道编码的基本要求是在信道中传输码符的可行性和可靠性,作为通信系统的工程活动亦如此。

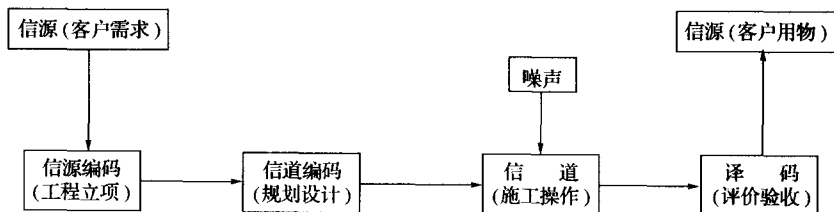


图 2.4 工程系统的信息结构

无论市场经济倡导的客户是上帝理念,还是社会主义倡导的为人民服务理念,都要求工程主体与客户之间进行发自内心的通信,达到深层次的相互沟通、相互理解,特别是工程主体应设身处地为客户着想,急客户之所急,最大限度地满足客户

需求。

2.1.5 工程系统的价值结构

工程的总目标是工程客户和工程主体相互配合以实现客户的特定价值追求(价值期望),起点是把客户价值追求内化,再随着工程的展开而变换和传递,并在工程结束时重新外化,形成某种价值流。立项是工程客户的价值观与工程主体的价值观在碰撞中融合的过程,任务是把客户的价值追求转变为工程主体的价值承诺。规划设计的任务是把立项中的价值承诺转变为技术承诺,去指导和约束施工环节的信息作业。工程进入规划设计环节后,价值观念开始潜入工程系统的深层结构中,主要通过表层的工程主体的技术承诺发挥作用。施工操作阶段的任务是把信息形态的技术承诺转变为实在的可以检测的技术性能,客户的价值追求潜沉于更深层次,信息作业借助于技术性能的语言进行。工程客户的价值追求在评价验收阶段重新浮现出来,确定客户的价值期望是否实现。显然,工程过程中价值观念的运动呈现出否定之否定的螺旋上升的辩证结构,如图 2.5 所示。

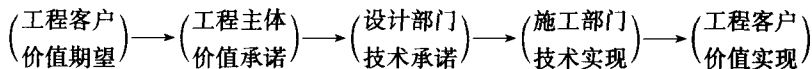


图 2.5 工程系统的价值流程

工程系统以客户的价值观念为导向,却是以工程主体的内在价值追求为载体而体现的。首先,工程作为过程有其内在的价值追求,即工程的有效性、时效性、快速性、安全性、经济性、审美性等,它们同客户的价值追求未必都有直接联系。例如,客户无须考虑施工者的安全保证,但施工单位若不考虑安全保证,则其自身的价值追求便无从谈起。工程必须以人为本,体现在工程主体自身,就是把安全施工作为主体价值追求的最低目标之一。工程主体的核心价值追求要通过满足客户的价值期望来实现,但必须转换成工程产品的性能指标来考量,通过性能指标来表现和衡量工程的价值。产品的性能指标是工程系统内在价值的显示,工程主体直接追求的是这种内价值。工程产品的内价值表现为一系列性能指标,而不是单一指标,形成工程的性能指标系统。性能指标是价值观念的显在表现。价值观念还有其潜在的表现,尤其是那些由个人偏好、群体文化、政治倾向和宗教信仰决定的价值观念。

工程作为过程系统,由价值流和知识流(此处仅指科学、技术、管理知识)两个子过程交织而成,实现价值是目标,运用知识是手段。工程各环节中的知识流动还包含知识的收集、选择、整合、更新和创造,知识的流动承载价值的流动,价值的流动主导和支配知识的流动,当且仅当价值流动到达终点(实现工程目标)时,知识的流动才能终止。

2.2 工程系统的环境

2.2.1 工程系统的环境概念

系统之外跟系统有关联的存在物的总和,称为系统的环境。凡系统都有环境,系统跟它的环境密不可分。系统的形成、维持和发展需要从环境中获取资源,包括物质、能量、信息、时空条件等一切有利于系统生存发展的东西;同时不可避免要承受来自环境的制约,包括干扰、限制、压力,甚至威胁、破坏等。环境就是系统可能得到的种种资源和承受的种种制约的总和。系统的要素是从环境中经过选择、分离、改造、聚集而形成的,系统的结构是在环境的支持和制约下建构和维持的,系统的运行须以环境为舞台、在同环境中的其他系统相互作用中展开,系统的状态须以环境为参照物才得以显现,系统的行为被视为自身相对于环境所做出的改变。概言之,环境对系统有塑造作用,系统的许多特点须用环境因素来解释,环境的改变必定引起系统的相应改变。

工程系统的环境应划分为科技环境、文化环境、社会环境和自然环境四类,可以简略地表示为图 2.6。注意,四类环境之间的层次嵌套关系没有图中所示的那样严格确定,外层环境并非一定要经过内层环境才能对工程发生作用。

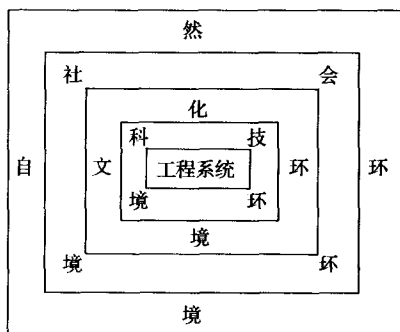


图 2.6 工程系统的四重环境

2.2.2 工程系统的科技环境

无论作为知识体系,还是作为社会活动或社会建制,科学都是独立于工程的一种系统存在,把科学系统作为工程系统的环境是没有分歧的。工程与技术之间特殊密切的联系使人们长期以来把二者混为一谈,看不见技术也是独立于工程系统的一种存在物。在国内,陈昌曙^①、李伯聪^②最先明确指出技术和工程有性质上的区别,提出科学、技术、工程三元论,阐明应把技术也看成工程系统的环境。鉴于科学与技术的密切关系,我们把二者合称为工程系统的科技环境。工程系统知识维的两种构材要素科学知识和技术知识,以及作为组织要素的管理知识中的管理原理和管理技术,必须从工程系统之外的科学系统和技术系统中选择、吸取,当做系统的零部件,在设计和施工过程中按照立项目标

^① 陈昌曙,重视工程、工程技术和工程家,载于刘则渊、王绶琨主编的《工程技术哲学》,大连理工大学出版社,2002年,第27—34页。

^② 李伯聪,工程哲学引论——我造物故我在,大象出版社,2002年,第3—12页。

所取定的价值标准进行加工、整合、组织,最后凝结于工程系统的产品中。科技发展水平总体上决定着工程水平,现代社会尤其如此。没有原子物理学,不会有核电站工程;没有分子生物学,不会有基因工程;没有集成电路技术,不会有建造电脑的工程;没有思维科学,不可能提出思维工程的概念。具有重大创新性的工程必定有其科学技术的源头,愈向未来,科技环境对工程的影响愈大。

作为工程环境的技术系统。知识形态的技术作为系统,最先产生的是实验形态的技术,然后发展为科学形态的技术,均为非现场技术,二者共同构成工程系统的技术环境。根据工程需要选择出来被用于工程活动的那些技术,是工程形态的技术,又称为现场技术。工程过程就是非现场技术有选择地进入工程并转化为现场技术的过程。能够进入工程活动的一般应是科学形态的技术,只有在某些特殊情况下才允许实验室形态的技术直接试用于工程。

作为工程环境的科学系统。作为知识创新的科学研究过程,起点并非问题,而是假说或假设,问题之于科学相当于客户需求之于工程,只是连接系统与环境的界面。假设的提出以及处于逻辑论证和实验检验阶段的研究成果是实验室形态的科学,经过逻辑论证和实验检验而被科学共同体接受了的研究成果,是成熟形态的科学。在通常情况下,实验室形态的科学一律不得进入工程,进入工程的只能是成熟形态的科学。成熟形态的科学又分两个层次,即基础科学和应用科学(钱学森称之为技术科学)。进入工程的只能是应用科学,一种还停留在基础研究层次的科学新理论是不可能直接转化为工程可用的现场科学的。

2.2.3 工程系统的文化环境

粗略地说,人类的文化系统由两大子系统组成,一是科技文化,即科学技术活动及其产品所携带的文化信息;二是人文文化,即人文社会活动及其产品所携带的文化信息,包括文艺素养、历史知识、哲学观念、伦理道德、法律意识、宗教信仰等等。文化是一种社会化的信息存在,或信息形态的社会存在,因空间、时间、历史等条件的不同而形成不同的地域文化、民俗文化、民族文化、宗教文化等,总称为人文文化,对工程活动有着不可低估的影响。信息离不开物质载体,人文社会信息的载体有三种基本形式,即器物载体、制度载体和符号载体;相应地,人文文化有三种基本形态,即器物文化、制度文化和符号文化。上面讨论的是科技文化对工程系统的塑造,现在从三方面讨论人文文化对工程系统的塑造。

(1) 工程系统的器物文化环境

人造器物本身不是文化,所谓器物文化指一切由人造器件或物品所携带的文化,器物只是文化这种信息的载体。现有器物都是已经完成了的工程的产品,其中凝结着那个时代已掌握的工程化了的种种知识,也间接反映非工程化的知识水平。一项新工程,从客户需求到工程立项,再到施工,甚至评价验收,都是比照若干现有器物进行的,目的是从中吸收可用知识,确立本工程的参照系。杜牧诗云:“折戟沉

沙铁未销,自将磨洗认前朝。”前朝制造的战戟盛载着当时社会的多方面信息,即使折毁而长期沉没于泥沙中,只要尚未销毁,经过仔细辨认,即可提取出来。确切地说,器物文化首先是科技文化,但也有人文文化。未销毁的折戟既包含前朝的科技(材料技术、制造技术、工艺及其科学原理)信息,也包含当时的军事、政治、文化等人文信息,两者很难截然分开。人们在比照既有器物而设计创造新工程时,首先关注的是科技知识,同时也自觉或不自觉地吸收其中的人文文化信息。如果把已完成的和正在进行的工程之全体当成一个集合,那么,这个集合所载带的科技信息和人文信息构成每个正在进行的具体工程系统最切近的文化环境,人们在工程活动中通过对既有器物所蕴涵的文化信息的分离、选择、重组、集成、改造,最后达成该工程的自主创新。所以,不论多么新颖的工程,主体都需要向既有的器物文化吸收营养。

(2) 工程系统的制度文化环境

社会作为系统,其核心结构是它的各种制度,包括经济的、政治的、法律的、教育的、文艺的制度等。制度既是可以直接感受的社会实在,也是文化信息的重要载体。以社会制度为载体的文化,称为制度文化。制度文化对工程系统的影响在立项、设计、施工、验收四大环节中都有不可忽视的表现。具体工程系统是在社会大系统中运行的,工程管理作为工程系统的组织件,不过是环境大系统的组织件即社会制度的一种具体化、境域化的表现形式。一种社会或一个历史时期的制度文化,归根结底决定着那个社会或那个时期的工程的组织管理方式。这就要求工程主体必须熟悉社会制度的方方面面,善于适应、驾驭和利用制度文化为本工程开路,把工程必须接受的外在制度的制约转化为工程系统的内在要素,以便建设工程系统自身的规章制度和运行机制。

(3) 工程系统的符号文化环境

我们把一切用文字、数字、图像等人工符号记录、表达、保存、传承的文化,以及由活人言语动作所表达和传承的文化,统称为符号文化,大体上就是波普尔“3个世界理论”中讲的“世界3”。工程主体的内部文化,通常称为企业文化,集中表现为工程活动的现场文化,主要来源于这种符号文化环境。

总之,尽管文化没有作为一个独立要素参与工程系统的建构,但文化的影响在工程系统中无处不在,无时不有。如果说工程主体的科技水平是工程系统的硬实力,那么,主体的文化素养就构成工程系统的软实力。随着人们由小康生活走向富裕生活,对工程产品的人文文化品位和含量的追求将越来越大。

2.2.4 工程系统的社会环境

工程作为人类变革客观世界的活动,总是在一定的社会环境中进行的。社会环境包括政治环境、经济环境、产业环境、消费环境、法律环境等等,它们都在塑造工程系统的过程中发挥各自的独特作用。工程系统的成功建立在依靠、利用、适应

社会环境的基础上,工程主体必须充分吸收有利的社会资源,削弱或避开不利的社会因素。

(1) 工程系统的工程环境

钱学森说:“我们把极其复杂的研制对象称为‘系统’,……这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”^①对于作为系统的研制对象而言,它所从属的那个更大系统是它最切近的环境。工程系统最直接的环境组分是工程客户、工程供货单位、工程的上级主管和监督部门等,它们因同一工程而密切联系起来,工程的成败优劣跟它们有最直接的利害关联,一荣俱荣,一损俱损。工程系统连同这些社会部门一起构成一个如图 2.7 所示的更大的工程系统。工程主体必须努力驾驭这个更大系统,善于运用它的系统性解决本工程的各种问题。从时间维看,某一工程的工程环境由它的前行工程、后继工程、并列或交叉进行的其他工程共同组成,前行工程可能留下基础、储备、制约、问题、困境等,后继工程可能提出要求、限制、压力等,同时进行的其他工程与该工程形成竞争、合作、互补、制约等关系。这些方面都有其知识形态的表现,都会对该工程系统产生影响,工程主体必须充分了解、适应、利用、驾驭这个工程大环境。客户或为个人,或为群体,或为国家,或为国际组织,它们作为社会系统的组分都是工程系统的功能对象,将在下节讨论。

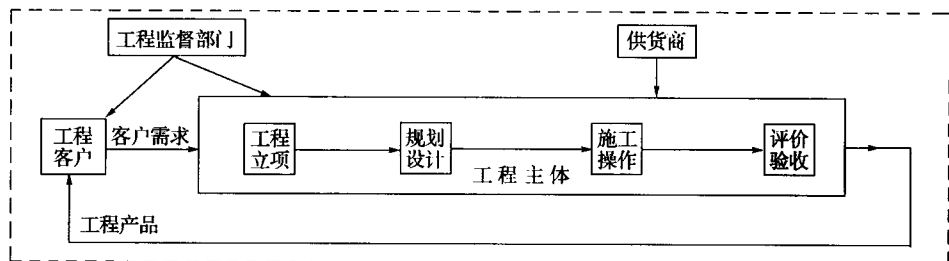


图 2.7 工程大系统结构

(2) 工程系统的经济环境

工程需要经济资源,经济环境是工程的基础和后盾,此乃常识。但工程对经济环境的依赖不止于此。大量的工程是为经济发展而进行的,经济考量主导着工程全过程,贯穿于立项、设计、施工、验收诸环节中。经济知识是工程管理知识不可或缺的组成部分,经济头脑是工程智慧的重要源泉,即使社会工程、学习工程等也须讲究经济性。经济大环境对工程还有更深层次的影响。例如,计划经济体制下的工程与市场经济体制下的工程显然有不同的理念和行为规范。工程客户,特别是工程主体,都应当具有经济头脑,了解经济环境,追求经济价值。

(3) 工程系统的政治环境

有社会就有政治,既然工程只能在社会中进行,它就与政治有天然的联系,直

① 钱学森等,论系统工程(增订版),湖南科学技术出版社,1988年,第10页。

接或间接受到政治的影响。政治清明,鲜有“烂尾工程”;政治腐败,“烂尾工程”不断。社会政治决定工程活动离不开的政策环境和舆论环境,遵守政策规范,接受舆论监督,用好政策武器和舆论武器,是工程顺利进行的必要条件。有些工程喜欢并且善于打政策的擦边球,也是在利用环境。

(4) 工程系统的法律环境

工程是通过一定的具有法律效力的契约或合同而把客户、承包者、供应商等联成一体。工程立项是工程主客体的法律对话过程,完成立项的标志是签署合同,工程由此而进入法律的保护或惩治范围。工程客户与工程主体之间,主体的不同部分之间,主体与供货单位或监督部门之间,或多或少会有分歧、矛盾,甚至冲突。任何工程都把社会成员划分为受益者、非受益者和受害者(显在的或潜在的)三部分,而客户之外的受益者、非受益者和可能的受害者往往容易被忽视,但他们的存在以及对工程的应对行为迟早会反馈于工程系统,对工程的后续进展和产品质量发生影响。凡此种种,都需要靠法律来协调利益,解决问题,消除纠纷,以确保工程的顺利进行。法律知识是管理知识的必要组成部分,科学管理和依法管理不可偏废,甚至是相辅相成的。

2.2.5 工程系统的自然环境

环境的塑造作用直接影响系统的状态、特性、行为和功能。系统科学认定,系统的品性和功能既取决于自身要素和结构,也同其运行的环境有很大关系。即使系统的要素和结构均属上乘,如果环境不适宜,系统也不能提供上等的功能输出。“橘生淮北为枳”的古训说的就是这个道理。自然工程都是在自然环境中存续运行的,工程建设的主体必须认真研究系统的自然环境,精心选择环境,以有利于客户享用工程产品预期的功能服务,避开有损产品功能发挥的环境。大量自然工程更是通过对自然环境的某些部分加以改造而建立的,自然界的某些山水生物等等是这些工程系统的有机组成部分,整个工程系统又是大自然的有机组成部分,它们尤其需要考量自然环境的影响。我国古代兴建的都江堰工程是巧妙地利用岷江出山口的自然环境修建而成的惠民工程,现已运行了 2200 余年。它科学地解决了江水自动分流、排沙、控制灌溉需水量等,从而实现了自然造化与人类智慧的良好结合。

社会工程常常也需要考虑自然环境。希望工程是社会工程,但包括建筑校舍等硬件这样的自然工程。安居工程也是社会工程,其实质是通过修建民宅这种自然工程达到改善居民生活、进而实现安定和谐的社会目的。许多工程是改造自然和改造社会并存的复合工程,甚至学习工程等也涉及自然环境。可以说,绝大多数工程系统都受自然环境的制约,重视自然环境对工程的影响,是工程系统论的一条原则。

2.3 工程系统的功能

2.3.1 工程系统的功能概念

一个系统的环境是由该系统以外的其他系统或非系统存在物共同构成的,系统的存续、运行、演化必定作用于环境,支撑、影响、改变着环境。从环境中获得资源,承受环境的压力,系统自身的变化,系统应对环境压力的行为,这一切都有改变和塑造环境的作用,改变就是塑造。所以,系统跟环境之间是一种互塑共生的关系,如图 2.8 所示。塑造不仅是相互的,而且有正负两个方向。广义地说,环境对系统生存发展的有利作用,是环境对系统的正面塑造,统称为环境对系统的输入激励;环境对系统生存发展的不利作用,是环境对系统的负面塑造,统称为环境对系统施加的压力;系统对环境生存发展的有利作用,是系统对环境的正面塑造,统称为系统对环境的功能输出;系统对环境生存发展的不利作用是系统对环境的负面塑造,统称为系统对环境的污染破坏。

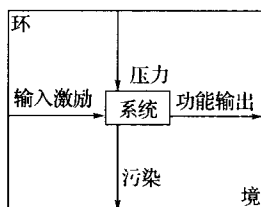


图 2.8 系统与环境的关系

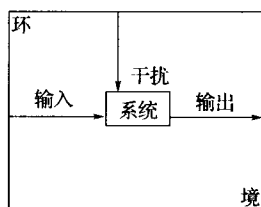


图 2.9 系统与环境的关系

迄今为止的系统科学只按照图 2.9 来描述系统与环境的关系,有很大片面性。环境对系统的负面塑造不能都归结为干扰,干扰一般指不确定的、作用时间短暂的外界负面因素,而环境一般还对系统施加长期起作用的负面影响,尤其环境中的敌对势力对系统的破坏性作用不能仅仅归结为干扰。环境对系统必有约束、限制作用,限制系统的自由发展属于负面塑造;但限制也是肯定,肯定也是限制,而肯定就是正面塑造,诚所谓“没有规矩,不成方圆”。例如,河床对河流的约束是一种肯定和支撑作用,没有河床的约束,就不可能有今日地球上的任何一条河流。更为片面的是,系统科学迄今不考虑系统对环境的负面塑造,如污染环境、破坏生态平衡等。随着环境科学、生态科学的兴起,这种片面性已暴露无遗,系统科学必须做出必要的修正。工程系统论作为一个新学科,在开始建立时就应注意这一点,重视考察工程系统对环境的负面塑造。

在系统科学中,功能是反映系统与环境关系、表征系统价值的概念。如果引入内环境概念,整系统(母系统)作为子系统的环境,还需要讨论要素或子系统对母系统的功能,不同要素或子系统对母系统提供不同的功能服务,各司其职,相互配合,

共同支撑母系统的存续运行。这就是所谓系统的功能结构。但在通常意义上,系统科学着重考察的是系统的外环境,以及系统对外环境的功能。问题还在于,现在的系统科学讲的是狭义的功能概念,仅限于考察环境中确定(特别是由人设定)的功能对象,有利于该对象生存发展的作用才是系统的功能。如发动机作为系统,功能对象是飞行器,功能输出是给飞行器提供推力;教师讲课的功能对象是学生,功能是对学生传道、授业、解惑;大学合并的功能目标是提高学校竞争力;希望工程的功能目标是帮助所有贫穷家庭的子女获得上学机会,等等。系统科学并不一般地讨论系统对其功能对象之外的其他事物以及整个环境的功能问题,这也是一种片面性。环境是由系统的功能对象和非功能对象共同组成的,前者数量极少,一般只有一个,后者却难记其数。系统对环境中的非功能对象的存在物也可能有正面塑造作用,应当加以研究。本章坚持在外环境中讨论工程系统的广义功能问题,泛指系统给环境造成的一切变化、施加的各种影响、带来的所有后果,因而有正功能和负功能的区分。

2.3.2 工程系统的科技功能

依据系统与环境的互塑共生原理,科学技术既然是工程系统的环境,必然受到工程活动的反作用,工程系统具有影响和促进科学技术发展的重要功能。它表现为以下四方面。

(1) 工程对科技发展的动力功能

就图 2.7 看,促使工程上马的客户需求,是在以往的工程大系统的用物消费阶段中生发出来的,工程主体在这种需求驱动下到它的科技环境中选择构材要素以构建工程系统,又在客户新的用物消费阶段生发、凝聚为新的需求,驱动更新的工程上马。新工程需要新的知识要素,往往是现有科学技术不能满足的,从而产生推动科技发展的新动力。社会对发展科技的推动作用大多是通过工程活动体现出来的。

(2) 工程对科技发展的思想源头功能

科学研究开始于新课题的确立。现有科学技术的许多缺失和问题,在实验室试验阶段和逻辑论证阶段难以发现,常常要在进入工程实践后才能充分暴露出来,形成新的研究课题。工程中的重大疑难问题直接引出重大科学问题,工程是应用科学新发现的主要源头。工程更是技术发明的基本源头,发明家或者直接为解决现实的工程问题而发明,或者为解决可能的工程问题(包括满足未来需要的未来工程)而发明。工程也可以产生好奇心,即造物的好奇心,孕育新的科学技术课题和新技术的灵感。应用科学的疑难又催生基础科学的研究课题,形成工程对基础科学发展的间接推动。

(3) 工程对科技发展的支撑功能

粗略地说,工程承包者交给客户的是工程系统输出中的“硬件”,留给科学系统

和技术系统的是“软件”。就图 2.7 所示大工程系统看,评价验收是工程认识(集中体现于规划设计阶段的成果)付诸工程实践后的再认识,客户用物(包括售后服务)是工程认识回到更大社会实践中去的再认识,因而是产生新经验、积累新资料和新数据、萌发新思想、激荡新灵感、涌现新猜想的过程,能够使后续工程系统的科技环境和文化环境更丰富、更厚实,为后续工程提供强有力的环境支持。

(4) 工程对科技成果的检验功能

自然科学认识成果的科学性首先要在实验室的可控性实验中接受检验,同时还要在生产实践中接受检验,而生产实践对科学技术的检验功能主要靠工程实践。完全以揭示客观奥秘、满足人类好奇心为目标的科学研究永远只是一小部分,绝大多数科学研究是以改造世界为目的的,其成果的正确性、有效性、可用性最终要在工程实践中经受检验。社会科学的认识成果归根结底要在改造社会的工程实践中经受检验,计算机模拟试验的检验功能是有限的。新兴的生态科学、环境科学等交叉科学更加需要经受工程实践的检验。而以检验理论为目标进行的科学实验,包括计算实验,不过是一类特殊的工程实践。实验室检验的是专利技术,专利技术毕竟不等于现场技术。技术发明都是以改造世界为目的而进行的,其成果的检验归根结底要靠工程实践来完成,并在工程实践中有所修正、补充、完善。总之,对于科学原理的正确性和技术手段的有效性的检验,工程实践具有实验室可控性实验不可替代的作用。

2.3.3 工程系统的文化功能

在社会文化环境中进行的工程活动及其产品都是人文文化的载体,不仅反映工程设计者和施工者的文化素养,而且记录和展示一定的时代、地域、民族、国家的文化特色和品位,是文化得以保存和传承的基本手段之一。

(1) 工程过程的文化功能

在一定的社会文化环境中、由一群或多或少具有文化素养的人来实施的工程活动,同时也是一种文化活动。工程主体的企业文化(团队文化)和工程现场文化是社会大文化系统的组成部分,负有陶冶其成员、影响社会大众的责任。工程活动是否富含人文精神,集中体现于施工过程。文明施工能推动社会文明建设,野蛮施工将毒化周围环境,引起社会纠纷。要建立和谐社会和学习型社会,就应使所有工程过程成为职工学习文化的过程,使传播先进文化成为所有工程部门必须承担的社会责任。

(2) 工程产品的文化功能

一切工程产品都蕴涵人文文化,新工程载荷新文化。工程客户的价值追求中或明或暗都有其文化追求(文化禁忌是反向的文化追求)。为特定客户立项的工程有特定的文化内涵。开拓新的旅游文化是三峡工程的重要功能目标。希望工程带来的新教室、新设备、新气象,既是新的文化成果,更是创造新文化的平台。为大批

可能客户立项的工程应提供不同的文化价值,供客户选择。庭院、屋宇、家具、日用品等的选择,体现着用物主人的文化素养和文化偏好。工程产品的文化价值首先是为满足当代人的需要而确立的,同时也可能为后代留下可贵的文化价值。已经没有实用价值的古老工程,如埃及的金字塔、中国的万里长城等,成为具有永恒价值的文化遗产。

(3) 器物产品包装的文化功能

包装是展示工程文化的重要窗口,古代文物在今天的巨大市场价值跟器物的造型、图案、色彩等内包装密切相关。市场经济催生了工程产品的外包装,形成所谓包装文化。经包装而提高的产品价值,其实是迎合消费者短暂心理需求的文化投资,只有瞬间的文化价值。而过度包装不仅联系着高浪费、高污染,还可能联系着政治腐败,属于腐朽文化。

工程产品是跨时空传递和交流文化的重要信息载体,具有符号载体不可替代的独特作用。传统典籍记录的古代盛况,需有相关的实物相佐证才能被深入理解,这也是工程器物产品的文化价值。器物的实用价值有时效性,随时间流逝而降低,直至完全消失;器物的文化价值却可能是永恒的,甚至可能随时间流逝而增值,愈久远,文化价值愈高。

2.3.4 工程系统的社会功能

工程系统的社会功能是多方面的,主要有:

(1) 工程系统的工程功能

一个工程按照客户需求而立项,客户就是系统的功能对象,满足客户需求是工程系统最直接的功能输出,这是工程系统的狭义功能。既然作为工程系统功能对象的客户是社会系统的组分,满足客户需求也属于工程系统的社会功能,而且是它的本征功能。工程系统常常可能提供客户在立项时未提出要求的 service,即工程系统的非本征功能。任何工程都对其供货商做出贡献。工程系统还可能惠及非客户、非供货商的社会成员,也是其社会功能。

(2) 工程系统的经济功能

大量工程是以创新和生产大众消费品为功能目标而进行的,满足大众消费是工程系统的基本社会功能之一,即工程系统的消费功能。也有大量的工程系统不是以满足大众生活消费为目标的,它们的产品在经历评价验收环节后,都进入社会产业链或产业网,能够丰富产业系统的构成,优化产业结构和布局,提高产业系统的品位(升级换代)。这是工程系统的另一种基本的社会功能,称为工程系统的产业功能。消费功能和产业功能一起构成工程系统的经济功能。

(3) 工程系统的政治功能

一切工程都直接或间接具有政治意义,核心是工程能否以民为本。大型复杂工程往往以国家部门为用户,必须从政治方面考量。菜篮子工程,安居工程,就业

工程,这些关系到广大民众切身利益的工程,也关系到社会的安定祥和,具有明确的政治功能。但政治只应通过价值观念进入工程,不可直接参与工程过程的展开和运行,特别是不应该插手工程的规划设计和施工操作,这两个环节应完全置于科学和技术的主导之下进行,为科学技术负责就是为政治负责。工程常常和政绩相联系,以民为本而不追求政绩的工程,往往是最有价值的政绩工程;以追求政绩为主轴而进行的工程,即那些受到普遍指责的政绩工程,常常是害民的恶绩工程:这就是工程辩证法。

既然工程系统的社会环境还包括大量非客户的社会成员,工程系统难免对他们发生直接或间接的影响,特别是负面影响。工程过程或多或少会扰民,引起不良社会反应。有些工程对客户有利,却给非客户造成伤害,导致社会纠纷。工程的特点是唯一对象性或一次性,不允许失败,失败是科学实验中的正常现象,却是工程中不允许的非正常现象。但失败工程事实上屡见不鲜,带来种种恶劣社会后果,越是大型复杂的工程,一旦失败,其负面效应越大。工程主体必须具有承受失败的高度警觉性和心理准备,有避免失败的高度责任心;工程一旦失败,应力求把负面影响降到最低程度。

2.3.5 工程系统的生态功能

狭义的生态系统指自然界的生物群落及其物质地理环境的总和。一切自然工程都以自然界生态系统的某一部分为加工改造的对象,以其余部分为环境,工程过程就是改变自然生态系统的过程。工程活动的总后果是形成一个人化自然,即处处打上人的烙印的自然。一切自然工程或大或小都会对生态环境产生消极后果,许多工程会严重破坏自然生态系统。环境污染的后果尤其会破坏自然生态系统。那些自然和社会复合而成的工程原则上亦如此。人类行为所造成的环境污染和生态破坏,基本是通过工程系统的施工过程和工程完结后的用物消费所产生的。工程的生态后果应成为一切工程活动的基本价值考量之一,工程客户和工程主体双方都要负起责任来。

在历史上,人类长期把自然界当成取之不尽的资源库,以为自然生态环境具有容纳、消解污染的无限能力,因而自觉地为保护和改善自然界生态系统而立项的工程几乎没有过。工业化的理论和实践把这种片面认识推向极致。工程系统论必须跳出这个认识误区,重视工程对自然生态环境的正反两方面的塑造作用。任何工程项目,只要涉及改动现在的自然环境,就要考量它给生态环境可能带来的负面后果,力求把负效应减少到最小程度。还应当认识到,现代社会有可能用工程手段来保护和改善自然生态环境,应当有计划地实施一些以保护和改善生态环境为功能目标的工程项目。

生态概念正在不断扩展其应用范围,使其内涵广义化,形成社会生态、经济生态、政治生态、文化生态等概念,甚至讲产业生态、教育生态、学术生态等。这些概

念都有工程意义。在更概括的意义上说,所谓生态就是多样性(异质事物)的和谐共生。多样性是生态系统存在的前提,没有多样性就谈不上生态问题;但多而杂乱,相互倾轧,意味着生态和谐被破坏。无论国内还是国际,无论政治生活、经济生活、文化生活,抑或学术生活,都需要有一个多样性和谐共生的外部生态环境。而这样的生态环境可以而且只能通过环境中的所有主体的工程活动来建设和改善。

3. 工程系统的演化

包括自然工程、社会工程和思维工程三个子系统的工程系统,在人类学意义上的文化系统背景下,通过彼此之间的相互作用而不断地演化。而文化系统的演化表现为社会中轴的转换,即社会的主导凝聚力(德、权、财、智、情)的更替,它是一种基于价值抽象的描述体系。在我们把工程抽象为由价值判断组成的价值链或价值网的模型里,其演化的历史逻辑可以表征为权势主导、经济主导和智力主导三大阶段。从工程活动历史中归纳得到的这种演化规律性,虽尚难以做出逻辑论证式的理论说明,但可提供一些有助于理解它的典型工程事例或许是最好的说明方式。

3.1 权势主导的工程系统

权势主导工程系统是农业文明时代的工程系统的特征,在权(力)本位的文化背景下,自然工程、社会工程和思维工程,都环绕着权势这一社会中轴运转。炫耀权力的埃及法老陵墓、国王立法的罗马法律体系和知识权力化的中国科举制度是三大典型工程。

3.1.1 埃及法老陵墓

古埃及法老(国王)们的形似汉字“金”的巨石塔陵墓,作为权势主导的工程系统中自然工程的典型,它也闪耀着古埃及人民的智慧光芒。渴望永生并保持权力的法老们相信现世的暂时性和来世的永恒性,死亡是开往永生的大门。他们为此而利用自己掌握的权力,建造能使他们的尸体永存并留下余威的陵墓。在崇拜太阳神的古埃及人眼中,金字塔形是太阳神的象征,阿蒙拉神庙里就供奉有包铜或镏金的正四面形锥体小石块。屹立在埃及沙漠中的金字塔陵墓,就是放大千万倍正四面形锥体,顶端安置类似的包铜或镏金的小四面形锥体石块,以让太阳神恩被国王的臣民们。这正四面锥体形的金字塔直插天际,不仅反映了国王们企图让自己的亡灵进入天堂的愿望,也是在炫耀其权势坚不可摧和高不可攀。但今日它早已失去昔日的权势威严,而成为考古研究的对象和旅游观光的圣地。

埃及法老佐塞尔(约公元前 2650—前 2575)是金字塔陵墓的始作俑者,他以改进技术的倡导者闻名后世。他要求他的建筑师和宰相伊姆霍特普为自己设计陵墓,伊姆霍特普遵命设计了一座材料和造型都是全新的陵墓,以巨大的石块砌筑成六阶方形尖塔。以往的陵墓都是用泥土建造的长方形平顶结构,而佐塞尔金字塔

是埃及最早的石建筑物。它坐落在古城孟菲斯附近的塞加拉,长约 30 米的墓道通往以壁雕装饰的墓穴,周边配有用汉白玉建造的几座神庙,以围墙环绕而形成一座规模宏大的陵园。以建筑金字塔陵墓炫耀权势的做法为其后的埃及法老们仿效,连续十个王朝(第三到第十三王朝)历时约 500 余年(前 2686—前 2181),建造了数以百计的大大小的金字塔,它们大都建于古王国时期(前 3200—前 2270)。

最大的金字塔群位于开罗西南的吉萨高原,它们耸立在尼罗河两岸的沙地上。保存最完好的三座金字塔是胡夫、海夫拉和门卡乌拉三位法老的陵墓,它们建于公元前 2700 至公元前 2500 年。其中胡夫金字塔最大,用 230 多万块巨石砌成,后世称其为“大金字塔”。胡夫(前 2543 年—前 2520 年在位)是埃及第四王朝的第二位法老,他为自己建造的大金字塔陵墓,原始高度为 146.59 米,经几千年风化现在的高度为 136.50 米,在法国巴黎的艾菲尔铁塔(320 米高)落成(1889 年)之前,它一直是世界最高的建筑物。正方形的塔基占地 5.29 万平方米,四边各长 230 多米,四个斜面正对东南西北四个方向。塔身由大小不等的 230 多万块巨石组成,石块重达 1.5 吨至 160 吨,平均每块重约 2.5 吨。据考古学家估计,为建造这大金字塔需动用 10 万人并花费 20 年时间。大金字塔四周整齐排列着许多贵族的平顶石墓,众星捧月般地衬托出大金字塔的雄壮和威严。

考古学家们对吉萨金字塔区的考察发现,墓里的象形文字记录了金字塔修建时的情况,墓壁上的绘画生动地展现了金字塔修建时的情况。但有关金字塔建筑工程的许多细节问题仍然不清楚,如何把巨大的石块开采出来?如何把它们搬运到这里来?又是如何把它们垒砌起来?准确的朝向和坡度是如何计算的?它们何以能抗侵蚀直至今日?这一神奇建筑的许多未解之谜,吸引许多科学家、考古学家和历史学家前往探究,为了揭开谜底而进入大金字塔探密的尝试也从未停止过。最近一次也是迄今最受关注的一次行动便是 2002 年全球 142 个国家同时直播的考古发掘过程。

3.1.2 罗马法律体系

作为社会工程的法律建设旨在调整社会关系、人与人之间的实实在在的各种日常关系,通过对各种各样的行为模式分类,并以抽象的语词概括成规范行为的律条。古罗马的完备法律体系,包括市民法(仅适用于罗马公民)、自然法(适用于所有人)和国家关系法(用于调节罗马人与其他民族之间的关系),是权势主导的工程系统中社会工程的典型。在公元前 5 世纪制订的《十二铜表法》的基础上,经公元 2 至 6 世纪间几百年的发展和完善,在公元 6 世纪完成了集大成的罗马法典《国法大全》。该法典对西方文明的影响被认为仅次于《圣经》,其中的证据、公正、思想自由和契约精神等基本思想和原则,都已融入西方乃至世界各国的法律体系之中。

罗马人的历史可以追溯到公元前 751 年罗洛和罗莫兄弟俩创建罗马城的故事,公元前 510 年一个雅利安式的共和国出现在罗马。罗马社会按传统划分为贵

族、平民和奴隶,贵族是统治阶级,平民有选举权而无被选权,奴隶没有任何权利。政权的组织形式是执政官主持的贵族元老院,后来又增加了保民官主持的公民大会。初期,罗马共和国不过约为400平方英里的领土,15万人口;通过不断的征服扩大,把地中海变成了内湖,地跨欧、亚、非三洲。这个庞大的奴隶制共和国,从公元前27年起转变为专制君主政体的罗马帝国。公元前395年,罗马帝国分裂为东西两个帝国:公元476年,西罗马帝国灭亡;直至公元1453年,东罗马帝国灭亡而结束。罗马人的真正伟大不在于它的强大和辉煌,而在于其对法律制度和法制政府的追求,《十二铜表法》奠定了其法律制度的基础,而其发达的标志则是《国法大全》的问世。把许多不同文明整合到自己版图之内的罗马人的法律体系,其市民法源自罗马人自己的法律,而万民法则是来自迦泰基人和埃及人的法律。

《十二铜表法》是罗马最古老的法律文献。该法是罗马小农平民与贵族奴隶主之间长期斗争的结果,它始于公元前486年使平民获得公地的一项土地法。公元前454年,元老院被迫承认公民大会制定法典的决议,任命了一个10人委员会负责编纂法典,在公元前451年,就制订出法律十表,翌年又补充二表,最终完成了《十二铜表法》。它将长期以来约定俗成的习惯形诸文字,而不再依靠执法贵族们往往不合习惯的记忆力。据说,它被分刻成十二块铜牌,并树立在罗马城内的广场上,因此而得“十二铜表法”之名。公元前390年,铜表被入侵罗马的高卢人毁坏,完整的《十二铜表法》原文散佚。我们今天所知的《十二铜表法》是根据罗马人后来的引述,因引述人的损益和法学家们的批注相杂,其原貌已无法真正完全恢复,但基本内容及其排列顺序仍可确定。它的全部律条包括传唤、审判、求偿、家父权、继承及监护、所有权及占有、房屋及土地、私犯、公法、宗教法、前五表之补充、后五表之补充等12篇。作为协调与明确区分小农与奴隶主权利和义务的《十二铜表法》,不仅是共和国时期罗马法律的主要渊源,也是帝国时期罗马法律的基础。

《国法大全》的编撰要归功于东罗马帝国的国王查士丁尼(483—565),他即位第二年(529年)就成立了一个罗马法编撰委员会,由著名法学家特里波尼亚领导,对400多年来罗马历代元老院的决议和国王的诏令进行编辑:公元534年,《查士丁尼法典》问世;接着,又把历代解释法律的著作整理成《学说汇编》,并编撰了训练学生用的《法理概要》;在公元565年,继而又将查士丁尼时代的法令编辑成《新律》。在中世纪,以上四部法书被统称为《国法大全》(也称《民法大全》或《罗马法大全》)。查士丁尼也因这部历史上最完备的奴隶制成文法典被后人称为“法律之父”。君主制公开确立后的罗马,立法权被视为国王个人的神圣权力,所以国王敕令在罗马法律体系中占据统治地位,大致包括敕谕(对全国发布的命令)、敕裁(对非常诉讼及主要上诉案件所作的裁判)、敕答(对官吏或个人提出的法律疑难问题做出的解答)和敕示(对官吏下达的训令)四种。

适应奴隶制社会私有制和商品经济要求的罗马法,全面地维护了罗马统治阶级的政治统治,保证了国家机关实现权力。随着罗马帝国的衰亡,罗马法律体系几

百年湮没不张。直到文艺复兴才在意大利的大学里恢复了对它的研究,中世纪末期又开始了它的近代影响。罗马法体系的历史地位,不仅在于它曾服务于罗马奴隶制社会,而且也在于它通过各种形式直接或间接地促进了资本主义经济的形成,推动了资本主义社会商品和货币关系的发展,为后世调整和保障商品生产以及私有制为基础的社会经济关系提供了借鉴。罗马法律体系不仅影响了欧洲各国,并通过殖民活动影响到亚洲、非洲和美洲。

3.1.3 中国科举制度

中国的科举制是通过分科考试选拔官吏的制度。从605年到1905年,持续达1300年之久,一直是连接知识和权力的纽带。它作为专制君主政体选拔官吏的一种制度,自由报考、固定时间、公开考试、不论出身、不讲资历、不限年龄、公平竞争、择优录取,与封建的世袭制和贵族垄断的各种举荐制相比要先进得多,这为社会上升性的流动提供了一种制度保障。但是,从科举制的实施与教育的密切联系看,它把对真理的追求引向了对功名利禄的追求。科举制不仅在中国存在了1300年,还影响过东亚的一些国家,甚至世界。日本、韩国、越南以及东亚地区的小国琉球都曾实行过科举制度。韩国的科举长达936年,是在中国域外的典范。科举制不仅被东亚一些国家复制和模仿,作为文官考试制度,也为英、法、美等西方国家所借鉴。科举制的知识权力化的本质特征,使之成为权势主导的工程系统中思维工程的典型。

科举制创始于隋朝,确立于唐朝,完备于宋朝,兴盛于明、清两朝,废除于清朝末年。隋朝开创的分科考试选拔文官的制度,分秀才、明经和进士等科,秀才考试方略,明经考试经术,进士考试时务。唐朝的科举考试,初期沿袭隋朝的秀才、明经和进士设科,后来取消了难以考试的秀才,增设俊士、明法、明书、明算以及一史、二史、三史、道学、童子 and 武举等诸科;考试内容或以策、论、书、判,或以史、传、法、礼,或以诗词、歌赋、杂文,或专以经义。宋朝的科举考试,将诸科并于进士科而独行,考试内容拒绝诗词歌赋而专以经义。元朝的科举考试,沿袭宋朝的重经义而轻诗赋,但把蒙古人、色目人与汉人、南人分开。明朝的科举考试,承继进士独行,并进一步把经义考试的命题限制在四书五经之内,还要求试文遵守体用排偶的八股格式。清代的科举考试,与教育紧密结合,科举考试必经学校并且程式化为秀才、举人和进士三级递进模式,并且制订了诸多严格的考试程序和考场纪律。科举制最终发展到背离它的初衷,从求才为本、退化为防奸为本的地步。面对来自西方的各种严峻挑战,作为儒学知识与专制权力连接纽带的科举制,难以为继,随着钱权交易各种途径的日益发展而在清朝末年被废除。

科举制作为权力控制知识流向的主要手段,在中国完成了儒学作为国家意识形态的地位。自汉代以来,在权力的支持下,儒家思想日益制度化:五经立于官学,使儒学文献经典化;孔庙的建设和祭孔,又使儒家圣人化;而科举制度则是维系儒

家价值体系正统地位的根本手段。以对儒家经典的理解作为考试标准的科举考试,完整地体现了专制君主权力对于意识形态的控制。科举考试作为传达权力意志,完全地确立了儒家观念标准解释之最有效的途径,使儒家对于社会秩序的解释确立为官方所承认的正统的信仰系统,从而儒家关于自然和社会的理念就成为真理性的表述。作为意识形态的儒学与专制君主权力的这种直接的联系,确保那些熟悉儒家思想的人进入社会上层的优先地位,导致对儒学的了解成为人们改变社会地位的唯一途径,即通过科举考试进入“士”这一社会特权阶层。作为儒家意识形态化设计核心的科举制度,成功地将社会成员吸引到某个个人对儒家政治理想和社会道德之解释的理解,并从而窒息了发现真理的创造冲动。

科举取士与教育制度的实质合一,使科举考试兼具教育考试的性质。从而深远地影响了中国教育制度的发展取向,使整个教育体系都日益以科举为唯一取向。不仅官学和私学都自觉选择儒学作为教育的主要内容,连民间的知识传播体系也日益转向科举准备,甚至儿童的启蒙教育都成了科举应试的准备。科举考试要求的那种格式化的八股文,破题、承题、起讲、提比、虚比、中比、后比和大结八段以及起承转合的规则,通过学校教育严重地束缚了读书人的自由思考。与科举相联系的道德精英教育,虽然曾经产生出 700 多名状元、近 11 万名进士、数百万名举人和更多得多的秀才,但却少有对自然经验研究方面有所建树的人才。清人吴敬梓(1701—1754)以 20 年之功写下小说《儒林外史》,辛辣地抨击僵化了的科举考试制度及其所带来的严重社会问题。

3.2 经济主导的工程系统

经济主导工程系统是工业文明时代的工程系统的特征,在财(富)本位的文化背景下,自然工程、社会工程和思维工程都围绕着经济这一社会中轴运转。金钱取代权力的法国大革命、黄金水道苏伊士运河和智力商品化的知识产权制度是三大典型工程。

3.2.1 法国大革命

“革命”这个词在中国最早出现在战国时期成书的《彖传·革卦》中,以“汤武革命顺乎天而应乎人”论说商、周两朝改朝换代的合理性。在西方“革命”则是近代文明的现象,即金钱取代权力的资产阶级革命,后来又扩展用于无产阶级革命。资产阶级革命意味着旧制度的崩解与新制度的确立,它是一项艰巨而复杂的社会政治工程。历史学家把这种革命区分为两种类型:其一,在旧社会中,通过革命确立已经成熟的新制度;其二,与旧传统彻底决裂,并凭借革命理论创建新制度。在 18 世纪末,发生在法国的大革命属于后一种类型,无论就革命事件本身,还是就其广泛影响的后果论,都可以说是一场最不平凡的革命。法国大革命体现了社会中

轴从权势中轴向经济中轴的转换,是在工业文明时代社会工程系统中政治工程的典型。

18 世纪的法国是欧洲大陆典型的君主专制国家,社会按传统划分为三个等级:第一等级为教士,第二等级为贵族和第三等级为平民。第一和第二等级为不纳税的特权等级,他们只占总人口的 3%,却占有全国 1/3 以上的土地。第三等级,包括农民、工人、市民和资产阶级,占全国总人口的 97%。其中大多数是农民,占全国人口总数的 90%,却只占全国土地的 1/3,这些少地或无地的农民由于背负了沉重的地租和其他贡赋,即使在丰收年也很难维持温饱。第三等级中的工人和市民,其生活也并不比农民好多少。第三等级中的资产阶级,银行家、船主、商人、工场主和律师等,他们不仅腰缠万贯并且要求享有相应的政治权利。法国的经济结构仍然是农业经济占统治地位,工商业的发展由于高税盘剥和关卡林立而受阻,皇家和特权阶级也感到其奢侈生活难以维持。资产阶级经济势力的壮大、社会的严重阶级对立和殖民战争造成的财政危机导致了法国大革命的爆发。

法国大革命的直接导火线是 1789 年的“三级会议”。法国三级会议的历史已约 500 年,其渊源可追溯到 13 世纪行会代表机构。三级会议的必要根源王权和教权的势均力敌,法王腓力四世因向教会征税与教皇卜尼法斯八世发生冲突,为寻求第三等级的支持而于 1302 年 5 月 10 日召开法国历史上第一次三级会议。此后不时召开的三级会议多为国王增税和索取现金等要求,但 1614 年以后的 178 年里却未召开过一次,因为王权对教权已成压倒的优势。路易十四参与北美十三州独立战争(1778 年)导致法国政府财政的严重危机,因税收不足应付正常开支而借公债 6 亿金元(1786 年)。1788 年 8 月 8 日,法王路易十六宣布召开三级会议,接着又于 12 月 17 日下令加倍选举第三等级的代表,以期通过取消教士和贵族的免税权等改革解决财政危机,结果却是一场把他送上断头台的大革命。

1789 年 5 月 5 日,三级会议开幕,参加会议的代表共 1214 名,第一阶级教士 308 人、第二阶级贵族 285 人和第三阶级平民 621 人。1789 年 6 月 17 日,第三等级拒绝纳税,迫使国王同意将三级会议改名为“国民会议”。1789 年 7 月 6 日,国民会议成立制宪委员会,以切断中古传统而效法美国制订宪法。路易十六试图以武力驱散第三等级,而士兵们拒绝行动,面临凶险的国王屈服了。但同时他又秘密调动边防军进驻巴黎凡尔赛宫,并将主张改革的财政部长芮克撤职,于是全法国的人民造反了。1789 年 7 月 14 日,巴黎市民攻陷巴士底狱。巴黎起义的行动迅速影响及整个法国,东部和西部诸省的农民都起来造反,他们焚毁贵族的住宅和地契,庄园主们不是被杀,就是被赶走。在短短的一个月内,巴黎和法国大多数城市都建立了临时政府,并建立了国民自卫军。古老腐朽的贵族阶级的专制体制崩溃了,皇族的许多重要成员们逃亡到国外。

国民会议在备受干扰的混乱中,经过两年(1789—1791)秩序井然并卓有成效的工作,完成了废除教士和贵族特权的决议,并通过了人权宣言和宪法。1789 年 8

月4日,通过放弃特权案;接着8月27日,制宪会议通过并公布人权及公民权宣言;11月2日,宣布没收教会财产。1790年3月17日,通过出售教会财产案;接着在6月19日,决议废除贵族头衔;7月14日,国王正式接受宪法。1791年3月2日,决议废除各业行会;接着于9月3日,通过宪法;9月30日,国民会议解散。国民会议的功绩在于,通过人权宣言和宪法设计了一个自由平等的新社会蓝图。人权宣言规定,所有的人在法律面前一律平等和人民享有信仰、言论、出版等自由。新宪法采用孟德斯鸠的三权分立学说:司法权归各级法院,行政权归国王和各级官吏,立法权归民选的议员组成立宪会议。

在接下去的三年里,法国革命复杂而多变,国内复辟和反复辟、国外干涉和反干涉、吉伦特和雅格宾之间的斗争。1791年10月1日,根据宪法,立法会议开幕。1792年8月10日,王权被终止;9月21日,国民大会开幕,由吉伦特党人主导;翌日9月22日,宣布法兰西为共和国;12月11日,开始审讯国王路易十六。翌年1793年1月21日,把他送上了断头台;6月2日,雅格宾党人把吉伦特党人赶出国民大会;6月24日,通过新宪法(1793年宪法);10月16日,王后被处死。1794年11月11日,吉伦特党人重返国民大会。1795年8月22日,公布共和国第三年宪法;10月26日,国民大会解散;11月4日,督政府成立。在反对国外干涉的斗争中,拿破仑(Napoléon Bonaparte, 1769—1821)率领的法国军队横扫了欧洲各国的封建势力,接着欧洲各国相继建立起共和政体。

3.2.2 苏伊士运河

苏伊士运河(Suez Canal)位于埃及北部,是连通地中海和红海的海运航道。1869年11月17日,正式向国际运输开放。其前身可上溯到公元前1874年开凿的“法老运河”——主要靠贯通尼罗河支流和湖泊的一条古老的人工运河。这条古运河断断续续地维持到公元8世纪。出于军事防御考虑,埃及人将其堵塞,连续废弃一千多年,直到19世纪欧洲殖民者的到来。1789年5月,法国殖民者占领埃及,法军统帅拿破仑曾寻找法老运河遗迹,并计划从新开凿,其后又有其他一些欧洲殖民者试图开凿,最终由法国外交家费迪南德·德·雷赛布(Ferdinand Lesseps, 1805—1894)将其实现了。

雷赛布劝说埃及领导人同意法国开凿苏伊士运河,并于1854年11月签订了《关于修建和使用苏伊士运河的租让合同》,遂于同年成立了国际苏伊士运河公司。根据这个合同,法国获得99年租期的苏伊士运河开发权;埃及政府无偿提供为开凿运河所成立的国际苏伊士运河公司所需要的土地和必要的劳动力,并给予公司进口开凿运河所需要机器设备的免税权,将有权分得纯利润的15%,并在合同期满后收归国有。经过5年筹资和设计准备,1859年4月,破土动工,历经10年(1859—1869),花费4亿法郎,终于完成了这一巨大工程。因此,雷塞布被颂为“伟大的工程师”。

苏伊士运河的开凿是一项艰巨而复杂的工程,克服了许多技术、政治和经济上的困难。运河设计为基本上南北走向,中间利用了三个湖泊以减少工程量。但整个工程存在着相当大的难度:因为有北段的盐渍地、中段的沙漠以及浅水湖区;又因为饮水需要,还同时开凿了一条与运河平行的淡水引水渠,以致工程量几乎增加了一倍。整个工程的土方量约达 7400 万立方米,1 万至 2.5 民工同时挖掘。为完成伟大的苏伊士运河工程,埃及数十万劳工流出了血汗,其中约 12 万人为此付出了宝贵的生命。

早期,苏伊士运河主要被法国殖民者占有;在 1875 年,英国乘人之危以低价购买了埃及的股权之后,为英、法共同占有。苏伊士运河被英帝国视为连接英国和印度的“主要公路和生命线”,从 1882 年起派兵 10 万众保卫这个交通要塞。欧洲各国对运河的战略地位也极为关注,1888 年 10 月,英国、德国、奥匈帝国、西班牙、法国、意大利、荷兰、俄国、土耳其等国代表,在君士坦丁堡(现称坦布尔)签订了《君士坦丁堡公约》,承诺运河对所有国家公平开放并禁止任何国家在运河水域作战。

苏伊士运河作为连接欧亚非三大洲的一条捷径,迄今仍具有巨大的商业价值和重要的战略地位。从赛德港到苏伊士港全长约 190 千米,水深 8 米,河底宽 22 米,河面宽 70 米。为了容纳更大更多的现代船只,经几次加深和扩宽后,几乎使所有数据都增加了一倍多。1976 年,制订了分两期进行的扩建工程,大大增加了运河的通航能力。1980 年,完成了第一阶段工程后,使运河的航行水域(即运河横截面适合于航行的部分)由 1800 平方米扩大到 3600 平方米,通航船只吃水深度由 12.47 米增加到 17.9 米,满足 15 万吨满载货轮通行的要求。1983 年,完成了第二阶段工程,进一步地使航行水域扩大到 5000 平方米,通航船只的吃水深度也增至 21.98 米,满足载重量 25 万吨的货轮通行的要求。经过 1993 年和 1996 年两次改造,苏伊士运河已达平均河面宽度 135 米和平均水深 13 米。

苏伊士运河大大缩短了东西方的航程,因为它连通了大西洋、地中海和印度洋。与绕道非洲好望角到印度洋的航道相比,对欧洲大西洋沿岸各国缩短了 5500—8009 千米,对地中海沿岸各国缩短了 8000—10000 千米,对黑海沿岸各国缩短了 12000 千米。这条具有重要战略意义的国际海运航道,每年承担着全世界 14% 的海运贸易,欧亚两洲之间一般货物海运的 80% 都经过苏伊士运河。运河管理局公布的年度报告表明,2001 年通过运河的各类船只共有 13986 艘,这些船只的总载重量达 4.56 亿吨。英、法两国在长达六七十年间从运河获得了丰厚的利益,对埃及政府来说,运河过境税提供了仅次于侨汇和旅游的第三大外汇收入。自 1975 年 6 月到 2000 年 6 月的 25 年里,船只过境税的收入达 300 亿美元,是苏伊士运河自 1869 年 11 月正式建成启用到 1969 年 6 月因中东战争而关闭的 98 年间过境税总和的 6 倍。在 2002 年 7 月 1 日至 2003 年 6 月 30 日的财政年度里,苏伊士运河收入达到 23.08 亿美元。

3.2.3 知识产权制度

知识产权(Intellectual Property)是一种财产权,即把知识作为与动产和不动产并列的第三种财产的权利。知识产权以知识的创新或商品化为其前提,不进入商品活动的知识不涉及产权。知识产权通常区分为专利(工业产权)和版权(著作权)两部分,它是从中世纪的封建特权发展成为合法的私权。在中国“专利”一词早在两千多年前的《国语·周语》中就已出现,版权概念在宋代也已萌芽。在欧洲公元前5世纪的雅典国王授予一位厨师独占其蒸调法的特权,公元1236年英王亨利三世授予波尔多市一位市民独占色布制造的特权,公元1331年英王爱德华三世授予约翰·肯普独占织布的特权,公元1421年佛罗伦萨共和国授予一位建筑师机械发明专利。知识产权制度是随着中世纪封建制度的衰亡和近代社会主义市场经济的建立逐渐发展起来的。15世纪以后,随着欧美国家的产业结构从农业到工业的转变,由专利法和版权法组成的知识产权制度,在限制与反限制的复杂斗争中日臻完善。在20世纪80年代,世界进入了知识产权时代。保护发明创造者权益的知识产权制度,其法制性、科学性、公开性以及地域性、独占性和时间性等,对知识扩散的促进和阻碍作用几乎同在,知识产权的发展史实际上是一部对知识产权限制与反限制的历史。

世界上第一个专利法是威尼斯共和国发布的《发明人法》(1474),接着有了英国的专利法《垄断法》(1624)和版权法《保护已印刷成册之图书法》(1710)。随着工业文明的发展,专利法先后在美国(1790)、法国(1791)、奥地利(1810)、俄罗斯(1812)、荷兰(1817)、瑞典(1819)、西班牙(1826)、墨西哥(1840)、巴西(1859)、阿根廷(1859)、意大利(1859)、印度(1859)、阿根廷(1864)、加拿大(1869)、德国(1877)、土耳其(1879)、日本(1885)、中国(1898)等国家公布,到1900年全世界有45个国家建立了专利制度,当今建立专利制度的国家和地区已达175个。在建立专利制度的同时,商标法和版权法也跟进地发展了。随着国际竞争与合作的加强,知识产权在最近的一百多年里日益国际化,《保护工业产权巴黎公约》(1883)、《保护文学艺术作品伯尔尼公约》(1886)、《商标国际注册马德里协定》(1891)、《工业品外观设计国际保存海牙协定》(1925)、《商标注册用商品和服务国际分类尼斯协定》(1957)、《保护原产地名称及其国际注册里斯本协定》(1958)、《专利合作条约》(1970)、《关于集成电路的知识产权条约》(1989)相继出台,还建立了“世界知识产权组织”(1967)并在尔后成为联合国的一个专门机构(1974)。一个打破国界的全球专利权制度,包括全球专利局、全球专利法和全球专利法庭的全球专利制度,也在酝酿之中。

中国的知识产权制度萌芽于19世纪中叶,洪仁玕(1822—1864)在其《资政新篇》(1859)中提出建立专利制度的主张。清政府曾批准几项工业专利,上海织布局被批准专利10年(1882)、钟锡良广州开设造纸厂被批准专利10年(1889)、烟台酒

厂采用葡萄酿酒被批准专利 10 年(1895)、王承准改革旧机器织造东西洋布被批准专利 15 年(1896)。清政府颁布的有关知识产权的法规有《振兴工艺给奖章程》(1898)和《大清著作权律》(1910),前者规定依发明的性质分别给予 50 年、30 年和 10 年的专营权。在民国时期,先后有北洋政府颁布的《奖励工艺品暂行章程》(1912)、《著作权法》(1915)和《商标法》(1923)以及南京政府颁布的《奖励工业品暂行条例》(1928)、《著作权法》(1928)、《奖励工业技术暂行条例》(1932)和《中华民国专利法》(1944)。在人民政府时期,先后公布了《保障发明与专利权暂行条例》(1950)、《商标注册暂行条例》(1950)、《有关生产的发明、技术改进及合理化建议的奖励暂行条例》(1954)、《商标管理条例》(1963)、《发明奖励条例》(1967);20 世纪 80 年代逐步完善,并制订了《商标法》(1983)、《专利法》(1985)、《著作权法》(1990);1980 年,加入了世界知识产权组织,并遵守《保护工业产权巴黎公约》(1985)、《商标国际注册马德里协定》(1994)、《专利合作条约》(1994)、《保护文学艺术作品伯尔尼公约》(1994)、《世界版权公约》(1994)等主要国际公约;1990 年,成立了中国知识产权研究会。

知识产权制度以保护发明创造者的权益为公开理由,但其实质目的在于实现知识的人类共享。“专利”本来是对那些不情愿白白交出“祖传秘方”而妨碍知识共享的一种无奈的“赎买”政策,它的发展竟走向了把手段变为目的而违背初衷的垄断性。知识产权是不让竞争对手销售自己产品或商品的一种垄断顾客的权利,这种只考虑发明者权益的垄断无疑会妨碍技术扩散的速度,并因而损害顾客的利益,甚至也影响生产专利产品的职工的权益。知识产权的这种知识经济观是与知识的可复制性和交流增殖性相背离的,我们有充分的理由怀疑它的存在的合理性。公布原代码的自由软件运动就是克服知识产权制度这种异化的明智之举,其实许多科学家早已在抵制发明者的自私行为,X 射线发现者伦琴(Wilhelm Röntgen, 1845—1923)和元素镭放射性的发现者居里夫人(Marie Jurie, 1867—1934)都自动放弃他们垂手可得的专利申请。那些正在奔向钱锈泥潭的大大小的发明家应该迷途知返,不要再为图一己之利而以自己的发明创造去服务于资本家的利润追求和统治者的权力欲。

3.3 智力主导的工程系统

智力主导工程系统具有知业文明时代工程系统的特征,在“智本位”的文化背景下,自然工程、社会工程和思维工程都围绕着智力这一社会中轴运转。连接知识和经济的科学工业园区、作为公共知识库的国际互联网和认识自然界的科学工程是三大典型工程。

3.3.1 科学工业园

以知识为基础的经济被称为“知识经济”,引导知识经济时代到来的是大学周

边的科学工业园,它的兴起是知识主导工程系统的一大特征。20 世纪下半叶是高新技术和高技术产业蓬勃发展的时期,基于科学的高技术及其产业已开始成为促进经济变革和社会进步的先导力量。微电子芯片、电脑、网络和生物技术等高新技术产业的快速迅猛发展,不断地改变市场的格局、加剧市场的竞争和加快企业结构调整的步伐,企业、地区和国家之间的差距也随之日益扩大。高技术及其产业化发展也推动社会生产方式和生活方式的变革,形成新的人际关系和社会文化。高技术正在有力地推动科学的进步,为人类节约资源和保护环境提供有效手段,为发展中国家创造新的发展机遇,促使人类社会向可持续发展的方向迈进。现代高技术的发展进程与现代高技术产业形成和发展的历史相一致,产业化是高技术发展的动力和归宿。高技术及其产业兴起于二次大战后美国一些著名大学的周边地区,国家目标和政府投入发挥了重要的催化作用。

大学工业园区肇始于美国斯坦福大学物理系的一些教授,他们在 1948 年以其研究成果为基础创办了生产微波电子器件的维里昂联合公司。当时,斯坦福大学校长特尔曼(F. E. Terman, 1900—1982),一直主张将大学研究工作和企业需求结合起来,他不仅支持物理学教授们创办公司,而且还于 1951 年决定在大学的土地上建立斯坦福工业园。他委托维里昂公司负责规划、筹资和开发,并将 10 公顷土地租赁给维里昂公司使用 99 年。几年之内,斯坦福工业园就集聚了一批公司,创造了学校与企业密切结合的先例。这些公司就近聘请大学教师和学生参加公司的研发工作,企业的文化和理想的传播也激发了学生投身企业的热情,为硅谷的兴起创造了人才和知识的条件。1955 年,晶体管发明人之一的物理学家肖克莱(W. B. Shockley, 1910—1989)也来到斯坦福工业园,半导体工业在这里迅速发展起来。在美国斯坦福工业园之后,接踵而来的是前苏联的新西伯利亚科学城(1957 年)、日本的筑波科学城(1963 年)、法国的索菲亚—安蒂波利斯科学城(1969 年),包括中国新竹和中关村两个科学园区在内的工业园区在世界各地兴起。

中国科技产业始于台湾新竹科技工业园区,兴起于中关村科技开发区。以美国斯坦福工业园区为蓝本的新竹科学工业园区,从 1976 年开始建设,1980 年 12 月第一期建设完成,15 家厂商迁入该园区正式开业,1987 年进区企业已达到 104 家。中关村科技园区的始作俑者是中国科学院物理研究所的物理学家陈春先(1934—2004)。1980 年 10 月 23 日,在北京等离子体学会常务理事会上,他提出建设科技企业的动议。在北京市科协和海淀区政府的支持下,他与中国科学院的物理研究所、电子研究所、力学研究所和清华大学的一批科学技术人员,创立了“先进技术发展服务部”。他们试图在以中国科学院、北京大学、清华大学为中心的智力密集的中关村地区,探索在中国条件下发展类似美国“硅谷”和 128 号公路的技术扩散模式。1983 年 1 月,陈春先的事业得到国家领导人的赞许,同年 4 月“先进技术发展服务部”发展成“华夏新技术开发研究所”,遂成为技、工、贸结合的科技企业。在“华夏”之后,在中关村科技企业迅速发展,1983 年 11 有家,1984 年发展到 40 家,

1985 年发展到 90 家,1987 年发展到 148 家。1987 年 5 月 3 日,中国民办科技实业家协会在北京成立;1988 年 5 月 20 日,北京市政府批准在海淀区以中关村为中心的 100 平方公里左右的区域划为“新技术产业开发试验区”。北京科技产业的兴起很快波及全国,到 1988 年 9 月全国已有万余家科技企业,30 多万科技人员离开研究所到这些企业工作。在天津南开地区、上海漕河地区、武汉东湖地区、南京钟山地区、广州五山地区以及深圳市,也像中关村地区那样,进行了新技术产业开发试验。进入 90 年代,全国已有经国务院正式批准的高技术产业开发区 50 多个。

3.3.2 国际互联网

人类的生存范围总是与其所能达到的有效通讯范围相一致,安放在地球轨道上的通信卫星、光缆铺成的信息高速公路和电脑网络连接技术结合,把人类的通信能力提高到覆盖全球的程度。全球化的通信网的基本格局的形成及其进一步完善,已经并将继续极大改变人类社会生活的各个方面,包括通讯、学习、生产、生活、经济、娱乐、言论以及战争甚至犯罪等活动。20 世纪 60 年代才开始萌芽的互联网在 90 年代成为风行世界的国际互联网。由于搜索引擎技术和数据库技术的结合和发展,互联网提供了一个空前巨大的知识库,创造了一个虚拟生存空间。长篇科幻小说《神经漫游者》(1984)的作者吉布森(William Gibson)叫它“赛伯空间”(Cyberspace),一个看不见摸不着但却真实存在着的网络世界,其中只有庞大的信息库和各种信息在高速流动。

“国际互联网”(亦称“因特网”)是从美国国防部高级研究计划署的军用“阿帕网”发展而来的。随着电脑应用的迅速扩展,电脑之间的有效联接被提到日程。1961 年,美国麻省理工学院的克莱因·罗克发表了论文《大型通信网络中的信息流》;1962 年,美国兰德公司的保罗·巴兰(1926—)发表了论文《论分布式通信网》;1965 年,英国物理学家戴维斯(1934—)设计了数据包传送的可能方案,他们独立地提出了有悖于传统“中央控制式”的电脑网络模型。1966 年 10 月,美国国防部高级研究计划署信息处理技术办公室的拉里·罗伯茨在一次会议上提出了一个划时代的报告——《通向分时的电脑网络》,1967 年 10 月他在另一次会议上又提出建立“阿帕网”的计划——《多电脑网络和电脑间的通信》。1969 年底由 4 个节点构成的阿帕网正式投入运行,到 1971 年 4 月阿帕网已扩大到包括 15 个节点并管理着 23 个大学工作站的规模。1972 年 10 月,通过在“国际电脑通讯大会”的展示,阿帕网的网络工作方式得到业内同行的确认。

随着接入阿帕网的电脑的增加,1989 年美国国家科学基金会建立了国家研究网,以接替美国国防部高级研究计划署已运行 20 年的阿帕网。美国国家基金会以 2 亿美元巨大的投资把国家研究网建成高速远距离的电脑网,使之成为了包含有 21 个节点和几万个网站的因特网的主干。国家研究网包括了高容量的电话联线、微波、激光、光纤和卫星,从而把各个网络、计算机站和全世界各地的人都连接了起

来,人们可以通过因特网利用世界各大图书馆的资料以及其他的资源。1991年,欧洲核子物理中心的伯纳斯-李发明了用超文本链接网页的环球网(World Wide Web, WWW),中文亦称“万维网”(因为“万维网”这三个汉字的汉语拼音字头恰好是 WWW)。超文本链接可以将相关多媒体资料文献和正在阅读文献的相关词联系起来,在电脑上点击相关词即可看到包含多媒体声像的相关文献,从而创造了全新的文献检索和查阅的方法。万维网作为因特网的服务系统不仅能提供文字还能提供声音和图像,使得整个网络成为一个巨大的信息库。

万维网的建立对国际互联网的发展起到了巨大的促进作用,仅在1994年就出现三个魅力巨大的进展:一是网景公司的马克·安德里森发明了网络浏览器,二是杨志远和戴维·菲罗建立了“雅虎”(意为“分级的非正式神谕”)检索器,三是太阳公司创建了制作网页的软件“佳娃”。因特网使多媒体进一步发展为第四媒体,即在网络上发布多媒体信息的一种传播方式。1995年4月,美国国家科学基金会不再为因特网的主干网提供资金,因特网开始进入企业化的运行阶段。目前,在宽带因特网上,已经可以通可视电话,可以点播电视节目。在信息基础设施建设完备后,光缆将进入家庭,电话、有线电视和计算机网三网将趋向统一,形成集成的社会信息网络。

3.3.3 大科学工程

大科学工程的出现是以科学技术产业化为标志的知业文明的一个重要特征。它与一般工程的不同在于,其目的主要是为科学研究服务。它通常使用正在开发、尚未发展成熟的技术,因而在工程进行过程中还需要进行实验研究,才能确定最终采用的材料、部件和方案。它与一般科学研究项目的不同则在于规模宏大,常常需要多个学科的参与,需要按工程的要求有组织、有计划地进行。科学工程的成果是大型观测仪器设备和丰富的观测资料,它为科学前沿的研究提供重要的条件和手段。为实现科学工程而开发的技术是尖端技术,结合市场需求能开辟崭新的企业发展方向。在历史上,除美国单独进行的曼哈顿原子计划和阿波罗登月计划外,人类基因组计划、国际空间站计划和国际热核实验合作计划是跨世纪的三大典型科学工程。

人类基因组计划的最早建议是美国科学家在1985年的一次会议上提出的,1986年杜尔拜克(Renato Dulbecco)在《科学》杂志上发表了题为《癌症研究的转折点——测定人类基因序列》的短文,建议制定以阐明人类基因全部序列为目标的人类基因组计划,以便从整体上破译人类遗传信息,使得人类能够在分子水平上全面地认识自我。1990年10月,美国正式启动了人类基因组计划,美国能源部和国立卫生院联合部署了《人体基因组作图和测序》的重大科学行动,预计在15年内完成的这项计划,由美国政府投资30亿美元和各界资助100多亿美元。随后有欧共体、日本、加拿大、苏联、巴西、印度和中国等国家相继提出了类似的计划。由于各

国政府和科学家们的共同努力,它发展成由 15 个国家和欧共体参加的国际性合作项目,成立了国际人类基因组组织以协调计划的实施。人类基因组计划主要包括四项任务:遗传图谱的建立、物理图谱的建立、DNA 顺序的测定和基因识别。预计人类基因组计划完成之后,用“A、G、C、T”四个字母写成的这本“天书”将长达数百万页。人类基因组的工作草图已于 2000 年 6 月 26 日宣告完成,并向全世界公布。草图包含了 85% 的基因碱基对排序,详细的全序列基因图在 2002 年完成。目前已经完成一批模式生物的基因组测序,有利于研究生物的进化过程和确定人类基因的功能。1999 年 9 月,中国科学家加入了这一研究计划,作为人类基因组计划成员负责测定人类基因组全部序列的 1%,也就是三号染色体上的 3000 万个碱基对。

国际空间站是在空间环境下进行生物、医学、材料、地球环境变迁和基础科学试验的国际合作项目,它始于 1984 年美国的自由号空间站计划,1988 年欧共体和加拿大加盟,1993 年又共同邀请俄罗斯参加。1993 年 11 月 1 日,美国航天局和俄罗斯航天局签署合作协议,决定共同建造一座名为“阿尔法”的国际空间站。1998 年 1 月 29 日,美国、俄罗斯、日本、加拿大以及欧洲航天局的 11 个成员国(比利时、丹麦、法国、德国、意大利、荷兰、挪威、西班牙、瑞典、瑞士和英国)共 15 个国家的代表在美国华盛顿签署了关于建设国际空间站的一系列协定和三个双边谅解备忘录,国际空间站计划正式启动。1997 年 10 月,巴西加盟,成为国际空间站的第 16 个合作国。1998 年 3 月 7 日,俄罗斯与美国就合作建设空间站达成协议,美国承担国际空间站建设资金的 80% 并负责从总体上领导和协调计划的实施以及在空间站运行期间发生紧急情况时进行具体指挥。国际空间站计划分三个阶段完成,总工期为 10 年,总投资 630 亿美元。第一阶段(1994—1997)为准备阶段,主要进行联合载人航天训练活动。第二阶段(1997—1998)为国际空间站的初期装配阶段,也是建立国际空间站的关键阶段。第三阶段(1998—2004)将把美国的居住舱、欧洲航天局和日本各自的实验舱以及加拿大的移动服务系统等送上太空,最终完成空间站的组装,然后开始国际空间站 10 年寿命的运行。最终的国际空间站由六个实验舱、两个居住舱和两个后勤舱及运输系统所组成,能供六七名宇航员在其中长期工作。空间站总重量为 430 吨,长 108 米和宽 74 米,能源 110 千瓦,在 400 公里高空轨道上飞行,每 90 分钟绕地球一周。

国际热核聚变实验合作计划的目标是建造一个可控的核聚变实验堆,以验证热核聚变反应堆的工程可行性,并对实际应用核聚变能所需的要素进行试验。该计划始于美国和前苏联两国首脑 1985 年的建议,1986 年美、欧、日三方决定与苏联合作,1992 年上述四方在国际原子能机构的框架内签署了合作协议。苏联解体(1991)和美国退出(1999)后,日本和欧盟成为这一计划的中坚,并在 2001 年完成了设计方案。2003 年,美国重新加入,随后又有韩国、中国和印度相继申请加盟。2005 年 6 月,有关各方在俄罗斯首都莫斯科达成协议,决定将实验基地设在法国南部马赛附近的卡达拉舍。2006 年 11 月 21 日,欧盟、日本、俄罗斯、美国、韩国、中

国和印度七方,在法国巴黎正式签署了联合实验协定,国际热核聚变实验反应堆计划正式启动。这一计划的实施将历时 35 年,其中建设阶段 10 年,运行和开发阶段 20 多年,2025 年原型聚变堆投入运行,2040 年示范聚变堆投入运行。总投资约 100 亿欧元(合 128 亿美元),其中 46 亿欧元用于实验反应堆及附属设施的建设,48 亿欧元用于后 20 年的实验运作和开发利用阶段,5 亿欧元用于项目结束后拆除。在具体费用分摊上,中国、美国、俄罗斯、日本、韩国和印度各负担 10%。这一计划的技术方案体现了世界未来能源科技的最高水平,涉及的领域包括超导研究、高真空、生命科学、遥控密封、环境科学、等离子计量和控制、信息通信、RF 加热技术、NBI 加热技术、纳米材料等许多学科。

董光壁

4. 工程系统的模式

模式(pattern)概念最早出现在建筑工程领域,后来在计算机软件工程领域被广泛使用,其内涵涉及相关领域、预期目标和解决方案。我们这里关于工程系统模式的讨论着重在工程的预期目标,将其区分为开发生活资源、扩大生存空间和保护环境安全三大类。

4.1 开发生活资源主导的工程系统

人类生存所需的资源,在已有科学认识的水平上,可区分为物质、能量和信息三大类。有史以来人类开发生活资源的进展,在标志性意义上可以概括为农业文明时代的金属革命、工业文明的能量革命和知业文明的信息革命。

4.1.1 农业文明的金属革命

耕牧、纺织、建筑、车船、冶金和文字等重大的技术发明及其工程,从根本上改变了人类对大自然的寄生关系,作为支撑技术为农业文明的发展奠定了基础。在整个农业文明时代的诸多工程中,金属的冶炼、加工和使用在提高农业生产力方面起了关键的作用,也为农业文明向工业文明过渡准备了条件。首先,发现和利用的金属是天然的铜、金和陨铁等。很久以后才找到从矿石冶炼金属的方法。青铜(铜锡合金)、铁和钢的出现,导致金属工具替代石制工具。约公元前 50 世纪就发现并开始利用天然铜,约公元前 42 世纪发现并开始利用金和陨铁,约公元前 38 世纪发现天然银并开始冶炼铜,公元前 35 世纪开始冶炼银、铅和合金青铜,约公元前 28 世纪开始实验性炼铁,约公元前 12 世纪发明熟铁硬化方法,公元前 6 世纪发明生铁软化法。金属用于制造礼器、兵器和农具,对农业文明的发展起了重要的推动作用。青铜的使用标志着原始社会的解体和奴隶制社会诞生,而铁器的普遍使用则标志着奴隶制社会的解体和封建制社会的诞生。世界上最早使用金属的地区是西亚,而东亚的中国则是后来居上而成为冶金的主角。

青铜是红铜(纯铜)与锡或铅的合金,熔点在 $700\sim 900^{\circ}\text{C}$ 之间,比红铜的熔点(1083°C)低。含锡 10% 的青铜的硬度为红铜的 4.7 倍。世界各地青铜器取代石器的年代早晚不同,大部分地区在公元前的 30 个世纪里先后进入青铜时代。中亚伊朗南部、土耳其和美索不达米亚一带在公元前 30 世纪,埃及在公元前 20 世纪,爱琴海沿岸在公元前 15 世纪。中国的青铜冶铸在商周时期已高度发达,并且在其整

个发展过程中做出了众多技术贡献,以泥范、铁范和熔模三大铸造技术而著称。湖北大冶的铜绿山古铜矿遗址和秦始皇陪葬的铜马车,分别展示了中国冶铜业的发展和青铜器的精巧魅力。除青铜外还应提到另一种重要的铜合金——铜锌合金黄铜,在含锌量不多于 40% 的条件下其基本性能类似于青铜,而含锌量在 20% 左右的黄铜颜色似金。西亚人早在公元前 8 世纪就发明了黄铜,并且随着黄铜制造技术的扩散,黄铜被罗马共和国等用于铸造钱币。青铜的坚硬对提高社会生产力起了划时代的作用,但中国的青铜器主要是礼、乐、兵、车四类,许多明器(陪葬器物)铸成后就埋置地下。就世界范围说,青铜时代与奴隶制社会形态相适应,中国是否存在过奴隶社会一直是个争论着的问题。

铁是地壳的重要组成元素,地球上的铁矿分布极广。但天然的纯铁几乎不存在,加之铁矿石的熔点高且不易还原,所以铁の利用较铜、锡、铅、金等为晚。人类最早发现和使用的铁是从天而降的陨石,它是含铁量较高的铁与镍和钴等金属的混合物,西亚古苏美尔人的古墓中就保存有陨铁制成的小斧。这种“天石”毕竟极少见,陨铁器具很珍贵也很神秘。只有通过矿石冶炼得到铁才有广泛利用的可能,经过千余年的长期的努力古人终于在冶铜的基础上掌握了冶铁技术。居住在美尼亚山地的基兹温达部和居住在小亚细亚的赫梯人最早掌握了冶炼技术,约公元前 13 世纪两河流域北部的亚述人首先进入铁器时代,在公元前 10 世纪铁的使用扩大到地中海沿岸地区,到公元前 5 世纪欧亚大陆的东、西两端也普遍使用了铁器并且开始炼钢。铁的性能在很大程度上取决于其含碳量,含碳量极少甚至几乎不含的熟铁性能柔而韧,含碳量在 1.5%—5% 的铸铁(生铁)性能硬而脆,含碳量介于两者之间(0.5%—1.5%)的钢性能坚而韧。在冶铁工程的发展过程中,熟铁硬化(钢化)和生铁软化(钢化)技术起过重大的推动作用,它们分别是由查里贝斯人(公元前 14 世纪)和中国人(公元前 5 世纪)做出的贡献。铁器的坚硬、柔韧、锋利,使其功用远胜过石器和青铜器,它的广泛使用极大地提高了生产力,铁犁和牛耕结合导致几亩地就能养活一口人。

4.1.2 工业文明的能量革命

在农业文明时期,人类凭借经验实现了机械能之间的相互转变和机械能到热能的转变,在工业文明时期人类借助于科学实现了各种能量的转换,热能、电能和核能。在 18 世纪下半叶,蒸汽机开始成为工业的主要原动机,而到 19 世纪下半叶电动机开始成为工业动力的主角,20 世纪下半叶,核能又加入能源行列。热机和电机作为动力机的使用和工厂化生产一起推动了工业革命,各种机械替代了笨重的体力劳动,人类随之进入了工业文明时代。有了火车、轮船和飞机等交通工具,几乎世界的每一个角落都留下了人类的足迹。在工业文明时代,农业生产已降至次要的地位,使用机械耕种只需百分之几的人从事农业就足以养活所有的人口。在这场“能量革命”中,热能和机械能之间的相互转化、电能和机械能之间的相互转

换是主导技术群的核心技术,核能到热能和电能的转换也逐渐成为不可或缺的角色。

热机包括蒸汽机、内燃机和火箭发动机等,蒸汽机主要是利用蒸汽在汽缸内推动活塞往复运动而做功的热力发动机,虽然早在 1655 年就出现了蒸汽提水机,但真正可作为原动机使用的蒸汽机是英国铁匠纽科门(1663—1729)在 1705 年发明的。经英国发明家瓦特(1736—1819)多年改进,与汽缸分离的冷凝器(1763)、双响旋转推动(1782)、离心调速器(1789)和气压表(1790),大大提高了效率而在 19 世纪成为安全有效的工业原动机。内燃机是在发动机的汽缸内不燃烧燃料以形成高温和高压的气体而产生动力的装置,包括汽油机(1883)、柴油机(1892)、石油机(1885)和煤气机(1860)等。内燃机出现在 18 世纪末,19 世纪下半叶诞生了第一台可运转的内燃机,法国工程师德罗夏(1815—1891)的四冲程高效内燃机(1862)和喷气发动机是利用高温气体从圆筒形的容器尾部喷射产生的反作用力来达到维持推进的目的,它有风洞推进器和火箭推进器两种形式,其原则性的区别在于后者工作在没有空气的太空而需要自带液体或固体的氧化剂。

电机包括发电机和电动机,都是基于导线与磁体的相对运动,载流导线相对磁体运动为电动机,而非载流导线的这种相对运动会成为在其中激发出电流的发电机,意大利帕奇诺蒂(1841—1912)首先设计出发电和电动两用机模型(1863)。电动机和发电机几乎同步地并且在相互影响下发展起来。由于电池作为电源的先期存在,电动机的发展从直流电动机开始,有了交流发电机以后才能有交流电动机。发电机则正好相反,由于技术上的方便,首先发展的是交流发电机。在电动机方面,在美国科学家亨利(1797—1878)的往复式电动机(1831)和里奇(1790—1837)的旋转式电动机(1833)之后,德国工程师雅可比(1801—1872)将他制造的直流电动机用于驱动四人乘坐的小艇(1838),英国工程师达文波特(1802—1851)将其制造的电动机用于开动印刷机(1839),英国工程师戴维森以往复式电动机开动火车(1842),英国工程师菲拉利斯(1847—1897)成功地制造了双相感应电动机(1885)。在发电机方面,首先发明的磁石交流发电机(1849),并且在六年后被用于点燃弧光灯(1856),但便于使用的直流发电机的发明则是在这 10 年之后的 1866 年由维尔德(1833—1919)实现的。德国发明家西门子(1816—1892)发明的双 T 型电枢(1856)和意大利工程师帕奇诺蒂发明的环形电枢(1860)使交流发电机成熟起来,德国工程师哈兹万德(1859—1932)又发明了三相交流发电机(1887)。

核反应堆是核物理发展的直接结果,从第一次实现人工核蜕变(1919)到发现核裂变(1938)的 20 年里,物理学家们认识到质量中等的元素的原子核最稳定。较重元素的容易分裂成质量较轻的核放出能量,较轻的原子核聚则易于变为中等重量的核而放出能量。原子核反应堆分核裂变堆和核聚变堆,裂变堆早已工业化而聚变堆迄今还在实验阶段。匈牙利美国物理学家西拉德(Leo Szilard, 1898—1964)最早提出利用裂变链式反应的设想(1934),而成功建立第一个裂变反应实验

堆的是意籍美国物理学家费米(Enrico Fermi, 1901—1954)。费米在 1942 年设计了世界第一座核裂变反应装置,用以研究链式反应的细节并把铀 238 变成钚 239,它由中子减速剂石墨和铀逐层叠放而成并称之为“反应堆”。这个反应堆高约 6 米,除了作减速剂用的石墨以外,为了控制核反应的程度还把一些能够吸收中子的镉棒插在堆中,以通过调整其插入深度控制核反应强度。1942 年 12 月 10 日,这个反应堆开始运行,其功率只有 0.5 瓦。1943 年又建造了一座 1 千瓦的反应堆,每天可产生 1 克钚 239。正是这个核裂变反应堆为制造原子弹和建设核电站提供了技术基础,1945 年第一颗原子弹在美国爆炸成功,1954 年第一座核电站在前苏联建成。

4.1.3 知业文明的信息革命

在几千年的农业文明时代,人类已经发明了文字、纸张和印刷术,它们作为信息载体为人类的思想交流做出了不可磨灭的贡献。在 20 世纪中叶,信息作为与物质和能量并列的第三类资源,迅速进入人类开发资源活动的视野。包括获取、传输、显示、变换、储存、识别、比较、加工和复制等的工程,通常被视为扩展人类生理器官(包括感觉器官、传导神经网络、思维器官以及效应器官和执行器官)的功能。只要注意到信息概念用于分子遗传学所取得的突破性进展以及对生物遗传之信息本质的认识,我们就有理由把遗传工程视为一种信息工程。信息工程外延的这种扩大使我们对信息本质的认识提高到控制,因而信息工程也就是形成信息控制的系统,它可以区分为物理载体、生命载体和心理载体的信息控制工程。人类经历了材质时代和能量时代,即以生物和金属为主要材质的农业文明时代和以热能、电能和核能作为主要动力的工业文明时代,正在步入以信息控制为主导的知业文明时代。

信息的物理载体控制是基于电磁,20 世纪以来的信息革命是以电磁波为载体的信息控制技术,作为信息处理装置的电子计算机的发明是其标志。电子电路集成化、信息处理数字化和信息传输网络化构成了信息技术革命的三部曲。电脑网络连接技术、光缆铺成的信息高速公路和安放在地球轨道上的通信卫星,这三者使得人类的通讯能力已经达到了覆盖全球的程度。在地球上繁衍了几百万年的人类已经使地球本身发生了改变,造成了诸如生态问题、能源问题等全球性问题,而全球化的通信网的基本格局的形成及其进一步完善,将为人类联合起来解决生态问题、能源问题、环境问题等全球性问题提供强有力的技术手段。人类的生存范围总是与其所能达到的有效的通讯范围相一致的。

信息的生命载体控制工程是基于生命遗传物质的基因结构而在生物体上实现的工程。生命的过程包括物质过程、能量过程和信息过程,从遗传学角度看信息过程对于生命过程可能更为本质。由于遗传物质 DNA 分子双螺旋结构的发现、遗传表达中心法则的提出和遗传密码的破译,使得人们对基因的具体结构及其作用方式等有关问题有了基本的了解。作为 DNA 分子上遗传信息功能单位的基因,

其通过转录和翻译过程控制蛋白质一级结构的形成,以及控制蛋白质二级和三级结构形成的某些线索的发现,为生命信息控制工程开辟了前景。基因工程是按照预先设计的施工蓝图,把需要的甲种生物基因(目的基因)转入乙种生物的细胞中,使目的基因被复制并表达出来,从而使乙种生物的细胞获得甲种生物的性状,形成新的生物类型。按照操作水平的不同,基因移植工程可大体区分为核移植、转基因和基因重组。三者之间的区别在于,核移植是作为细胞整体或其核的整体移入到非受精的受体细胞,而转基因和基因重组则通过基因的人工操作将外源基因直接引入或组入受体细胞,但最终的目的都是使作为受体的单个细胞在一种特殊的环境下分裂、分化、发育成完整的生物个体。

信息的心理载体控制工程与物理载体和生命载体控制不同,是一种心理操作的过程。属于这种心理操作的工程很多,其中形式逻辑推理和语法转换规则,无论在日常生活还是在科学研究中都非常重要。逻辑是从一些判断合理地得出另一些判断的规则,凡运用概念、判断和推理都必须遵守。公元前5世纪至公元5世纪,相继出现古希腊哲学家亚里士多德的逻辑学三段论式、中国墨家学派的名辨学三物法和印度正理学派的因明学三支论法,但只有亚里士多德的逻辑学由于在科学中发挥了作用而得到发展。以演绎法为中心的现代逻辑学,在德国数学和哲学家莱布尼兹的“思维计算”思想的指引下,英国数学家布尔(1815—1864)和德摩根(1806—1871)奠定了符号逻辑的基础,逐渐发展出演绎逻辑、集合论、递归论、模型论、证明论等诸多分支。语法转换规则是把一种语法转换成另一种语法的规则体系,语言学已经先后发展出多种不同类型的转换规则体系,但迄今最为完善的还是美国语言学家乔姆斯基在其转换生成语法中建立的语法转换规则体系。转换规则的主要功能在于,把一个句子类型转换成另一个句子类型,也可以在一个句子中增减某些成分,改变一些句子成分的顺序,用一个句子中的成分代替另一个句子中的成分。

4.2 扩大生存空间主导的工程系统

人类的集群活动是从小到大逐渐发展着的,其活动范围由近及远地不断扩大,交通工具(车、船、火车、汽车、飞机和航天器)和通信手段(电报、电话、广播、电视、网络)起了重要的作用。在扩大生存空间的种种努力中,张骞出使西域开辟的连接东亚和中亚的丝绸之路、欧洲人哥伦布开辟的横跨大西洋的航海,以及近几十年来发展着的航天科学工程,是这种工程发展史上具有里程碑意义的典型工程。

4.2.1 张骞开辟丝绸之路

丝绸之路是连接东方和西方的古代贸易大道,以中国的长安为其起点,沿渭水西行,过黄土高原,经甘肃河西走廊,到达当时中西交通枢纽的敦煌。在此分成南北两路:南路出阳关入新疆,经若羌、民丰、和田、叶城等地,登上帕米尔高原的塔什

库尔干,再经阿富汗、伊朗西去;北路出玉门关进入新疆,经吐鲁番、库尔勒、库车、阿克苏、喀什,再经费尔干纳等中亚地区到伊朗西去。南北两路在伊朗交汇以后,又经伊拉克、叙利亚、黎巴嫩,过地中海,到达终点的意大利的罗马、威尼斯。还有第三条路取道天山以北,经准噶尔盆地至乌孙再到大宛。因中国的丝绸从这贸易大道源源不断地运往西方,19世纪的西方学者称其为“丝绸之路”并广为接受。这条丝绸之路的作用在南海航运兴起之后已开始衰减,在火车、飞机和高速公路开通的今天,它早已失去贸易大道的作用,成为考古研究对象和休闲旅游的圣景。

张骞(?—前114)是丝绸之路的第一开拓者,他公元前138年被汉武帝作为使者派往西域,以联络大月支合击匈奴。张骞及其贴身随从匈奴人甘父一行百余人从长安起程,经陇西向西行进。他们到河西走廊一带,不幸为匈奴骑兵俘获。在被扣留11年之后,公元前127年得机会逃离匈奴。他们继续向西行进,越过沙漠戈壁,翻过冰冻雪封的葱岭(今帕米尔高原),来到了大宛国(今费尔干纳盆地)。在大宛王的帮助下,张骞先后到了康居(巴尔喀什湖和咸海之间的撒马尔罕)、大月氏(阿姆河中上游)、大夏(巴克特里亚)等地。因大月氏不愿再东进和匈奴作战,张骞未能完成与大月氏结盟夹击匈奴的使命。张骞在东归返回的途中,再次被匈奴抓获,后又设计逃出,终于历尽千辛万苦,于公元前126年后回到长安。公元前119年,汉武帝派重兵进攻匈奴大胜的同时,再派张骞联络伊犁河流域的乌孙共击匈奴。张骞带了300多人、600匹马和牛羊金帛数万顺利地到达了乌孙,并派副使访问了康居、大宛、大月氏、大夏、安息(今伊朗)、身毒(今印度)等国家。但因乌孙内乱而未能实现结盟的目的,张骞先于公元前116年回到长安,其副使们继续完成使命后也陆续归来。张骞前后两次出使西域凡历三十六国,为丝绸之路的开拓奠定了基础。霍去病(前140—前117)大军消灭了盘踞河西走廊和漠北的匈奴,建立了河西四郡和两关,正式开通了丝绸之路。

张骞第一次出使开辟了北道,返回时开辟了南道,而他第二次出使开辟了第三条道。其后又有东汉班超(32—102)经营西域,并于公元97年派甘英(生卒年不详)出使大秦(罗马),到达安息西界(条支)的波斯湾,这是汉代中国使者在丝绸之路上的所达到的最西端。公元3世纪以前,天山以南两道,以南道较为繁荣。公元3世纪至5世纪,两晋南北朝时期,以天山以北的通道最为昌盛。东晋高僧鸠摩罗什(337—422)从长安出发(399),横穿塔克拉玛干,翻越帕米尔高原,到达中印度。唐代高僧玄奘(602—664)西游从长安启程(629),经凉州、流沙河、哈密,穿越天山山脉到撒马尔罕,再前行过雪山而最后到达印度。意大利旅行家马可·波罗(1254—1324)来中国也大体踏着这条丝绸之路往返(1270—1294)。

丝绸之路是东西各国经济、文化和政治交流的重要通道。在经济交流方面,中国的丝绸、贵金属、铁器、铜器、漆器、杏桃和甘蔗等经它运往中亚、西亚并直到罗马,中亚以西各国的毛织品、玻璃、宝石、玛瑙、香料和化妆品以及大宛汗血马和中亚各国葡萄等瓜果蔬菜引种到中国。在文化交流方面,正是大月氏人经它把印度

佛经传入中国(公元1世纪末)和安息高僧安清(字世高)来中国传布佛教(148年)引得法显和玄奘等中国高僧去印度取经,箜篌、琵琶、箏、篪等乐器以及绘画艺术也传入中国,甚至袄教、摩尼教和景教也先后由此传入中国。在政治交流方面,在中国张骞、甘英等出使西域的同时,也有马其顿、色雷斯、罗马等国遣使中国。

4.2.2 哥伦布横渡大西洋

最早的航行多在河流和湖泊中,早在公元前70世纪两河流域的苏美尔人就有了船只,并且在河口的埃里杜城已经有船出海了。最早的海上探险者是迦太基人,大约在公元前520年一位名叫汉诺的人沿着非洲海岸航行,从直布罗陀海峡远到利比亚里边境。埃及第二十六王朝尼克法老也曾派出几名腓尼基人试行绕非洲一周,他们从苏伊士湾出发南行,历经三年由地中海回到了尼罗河三角洲。中国航海家郑和(1371—1435),肩负着外交兼贸易的使命,在28年间(1405—1433)七次沿印度洋海岸航行,每次出海都率数十艘大船和数万人,所经之地凡三十余国,最远到达非洲。因郑和航行本质上是连通了已知的航线,被公认最有影响的大航海是意大利航海家哥伦布(Christopher Columbus, 1451—1506)的横渡大西洋。

哥伦布出身热那亚的一个纺织工匠家庭,但他却立志当水手而不愿意像他父亲那样当羊毛工人。他与一位意大利航海家的女儿结婚后,他与他的岳父一起服务于葡萄牙的航海事业,成为一名技术娴熟的航海家。《马可波罗游记》使他对东方的印度和中国十分向往,而地球周长只有18000英里的错误估计又增加了他横渡大西洋去东方的信心。他为实现西航到东方的计划,先后向葡萄牙、西班牙、英国、法国等国的国王请求资助。在地圆说理论尚不十分完备的情况下,他被看作江湖骗子而被拒绝。1492年,西班牙扫清了穆斯林在比利牛斯半岛上的最后残余,在凯旋声中国王费迪南和王后伊莎贝拉答应资助他横渡大西洋的请求。

1492年8月3日,哥伦布带着费迪南国王给印度君主和中国皇帝的书信,率带88人(大部分是囚犯)分乘三条小船,从西班牙巴罗斯港扬帆出发,在茫茫的大西洋上向正西航去。三条船中最大者是圣马利亚号,它载重一百吨并装有甲板,而其余两条只载重五十吨也没有甲板。经过70个昼夜的艰苦航行,1492年10月12日凌晨发现了陆地。哥伦布以为到达了印度,其实到达的是现在的美洲。他把他登陆的地方命名为圣萨尔瓦多,即现在中美洲加勒比海中的巴哈马群岛。1493年3月15日,哥伦布回到了西班牙,带回了黄金、棉花、珍奇的鸟兽和两名印第安人。此后他又三次重渡大西洋,登陆了美洲的许多海岸。哥伦布至死都认为他到达的是印度,而一位名叫亚美利哥的意大利学者经多方考察证明,哥伦布到达的不是印度而是一个欧洲人前所不知的新大陆。遂这块大陆就以这位学者的名字命名:亚美利加洲。

哥伦布的发现震动了整个西欧,葡萄牙、西班牙、英国、法国、荷兰和汉萨诸城镇的海员们相继加入这新的探险行列。首先是葡萄牙人重新开始绕道南非去印度

的尝试。1497年加玛(Vasco Da Gama, 1460—1524)从里斯本航行到桑给巴尔岛, 在一名阿拉伯水手的帮助下, 他从那里绕好望角航行到了印度的卡利卡特, 连通了大西洋和印度洋的航线。最有科学意义的是葡萄牙航海家麦哲伦(Ferdinand Magellan, 1480—1521)的环球航行, 它从地理学意义上展示了大地球形说的正确性。他向西班牙国王建议延哥伦布到达的地方继续往西航行, 并受命组织了一支探险队。1519年8月10日, 他率领船队从西班牙的塞维利亚城的外港出发了, 共5条船和234人并装备有枪炮和刀剑等武器以及各种商品。越过大西洋到达南美洲的东海岸, 向南航行找到一个横穿大陆的海峡(后来命名为麦哲伦海峡)继续西航, 在菲律宾群岛哥伦布因与当地人争执而被杀害。他的助手卡诺率队继续西航, 越过马六甲海峡, 经印度洋并过好望角, 于1522年9月8日回到了西班牙。船队到这时只剩下维多利亚号一条船和18名船员。

哥伦布十年(1492—1502)四次横渡大西洋所开辟的新航道, 使海外贸易的路线由地中海转移到大西洋沿岸。它改变了世界历史的进程, 开创了在新大陆开发和殖民的新纪元。西方世界从此走出了中世纪的黑暗, 以不可阻挡之势崛起于世界。人口正在膨胀的欧洲找到了一个新大陆, 这里有能使欧洲经济发生改观的各种经济资源。欧洲人源源不断地移居美洲, 他们毁灭了原住民印地安人的文明, 他们强迫数以千万计的非洲黑人奴隶到南美种植园, 他们在这里建立了一个新国家。这个新国家极大地影响着旧大陆的各国, 一种全新的工业文明成为世界经济发展的主流。

4.2.3 野心勃勃的航天工程

自人类诞生以来主要是生活在地球的陆地上, 而且是生活在自然条件比较好的地理置位。人类为了扩大生存空间, 几千年来曾进行过各种各样的探险, 科学技术又不断增强这种野心和雄心。飞离地球已成为扩展人类生存空间的方向, 并一步一步地脚踏实地地进行着。早在300多年前, 伟大的科学家牛顿(1642—1727)就为我们飞出地球确定了力学上的条件。根据力学理论可以算出, 当飞行器的速度达到第一宇宙速度(7.9公里/秒)时就能环绕地球飞行而不至于落到地面, 将飞行器的速度提高到第二宇宙速度(11.2公里/秒)就可脱离地球引力而飞向太阳系的其他行星, 要想离开太阳系则必须达到第三宇宙速度(16.7公里/秒)。在半个世纪以前宇航科学的奠基人齐奥尔科夫斯基(1857—1935)就宣告: “地球是人类的摇篮, 但是人类不能永远生活在摇篮里, 他们不断地争取着生存的世界和空间, 起初小心翼翼地穿出大气层, 然后就是征服整个太阳系。”

1957年, 世界上第一颗人造地球卫星上了天, 12年后的1969年人类又登上了月球。1969年7月20日, 阿姆斯特朗走下阿波罗登月艇的最后一级扶梯, 将他的左脚踏在月球表面上, 这是人类在月球上留下的第一个脚印。阿姆斯特朗说: “这是个人的一小步, 人类的一大步。”如果从10世纪中国人发明“竹管火箭”算, 人类

的这大大步走了上千年的时光。近半个多世纪以来为飞向无际的天空所进行的种种实际努力中留下了一个个里程碑:1942 年第一枚实用火箭发射成功(德国 V2), 1957 年第一颗人造地球卫星上天(苏联斯普尼克 1 号), 1961 年第一艘载人飞船试飞成功(苏联东方号), 1969 年人类第一次登上月球(美国阿波罗 11 号), 1971 年第一个宇宙空间站进入地球轨道(苏联礼炮 1 号), 1981 年第一架可重复使用的航天飞机环地球飞行(美国哥伦比亚号), 1997 年第一个航天器在火星着陆(美国火星探路者), 1998 年阿尔法国际空间站计划启动。

今天在地球周围的高空已有四五千个空间飞行器和数架宇航飞机在飞行, 其中包括侦察卫星、气象卫星、通信卫星、科学卫星, 已有 400 多人遨游过太空。人们对于天空中的人造地球卫星已经习以为常, 甚至移居月球也成为人们茶余饭后的话题。虽然第三宇宙速度可以实现, 但以这个速度航天, 飞出太阳系要花费万年级的时间, 而且进行太阳系之外的一次通信联络也要一年的时间。所以, 尽管美国的“旅行者”号是为飞离太阳系设计的, 但在相当长的时间内人类的航天活动主要是以地球为中心。因此, 有人把航天定义为地球大气层以外的太阳系之内的活动, 所谓的太空电梯、太空医院、太空发电、太空冶金、太空农业、太空旅行, 也都是在太阳系范围内的太空活动。从对浩瀚天空的敬畏到飞天的幻想, 从凭经验的试飞到理论指导下的航天, 已经走过了漫长的道路的人类, 正在凭借自己的智慧朝着建立空间站、移居月球和征服火星的“三部曲”前进。1989 年美国总统依此宣布, 到 20 年以后的 2019 年一定要把人送上火星。

在地球上空建立轨道空间站是人类飞离地球的重要一步, 苏联和美国从竞争走向合作促成了国际空间站的诞生。空间站源于苏联 1971 年发射的礼炮号, 先后共发射了七艘, 礼炮 7 号 1982 年在空间停留 211 天, 创造了当时的世界纪录。其次是美国于 1973 年发射的空间实验室, 从发射开始就出现了太阳能电池板的故障, 试验任务受到影响, 原定在空间可停留十年, 后因不稳定于 1979 年坠毁。最后是苏联于 1986 年发射的有名的和平号, 在空间工作的时间超过了原设计的年限。在头十二年内, 和平号已绕地球飞行 71000 圈, 几十名宇航员在上面工作过, 俄罗斯宇航员博留可夫(Valerin Polyakov)在上面连续工作了 14 个月, 创造了世界纪录。1995 年 6 月, 美国宇航员访问了和平号, 并实现了航天飞机和和平号的对接。1998 年 1 月 29 日, 美国、俄罗斯、日本、加拿大以及欧洲航天局的 11 个成员国(比利时、丹麦、法国、德国、意大利、荷兰、挪威、西班牙、瑞典、瑞士和英国)15 个国家的代表在美国华盛顿签署了关于建设国际空间站的一系列协定和三个双边谅解备忘录, 国际空间站计划正式启动。

4.3 保护环境安全主导的工程系统

在人类的社会生活中, 总是受到来自自然的和文化的挑战, 环境安全问题是人

类生存的永恒需要。作为古代防御工程的中国万里长城、基于分担风险的保险组织领袖劳合社和认识环境的全球变化工程是三大典型工程。

4.3.1 中国的万里长城

作为古代防御工程典型的中国“万里长城”，自公元前七八世纪开始延续不断修筑了两千多年，分布在中国北部和中部的广大土地上总长约 7400 公里。其修筑的历史可上溯到公元前 9 世纪，为防御北方游牧民族俨狁的袭击，周王朝开始修筑的连续排列的“列城”。在春秋战国时期，自楚国在自己的边境上修筑起长城之后，齐、韩、魏、赵、燕、秦、中山等诸侯国也相继在自己的边境上修筑了长城。公元前 221 年，秦始皇并灭了六国诸侯，结束了列国纷争的局面，建立了中央集权的国家。为防御北方匈奴游牧民族奴的侵扰而大修长城，除利用原来燕、赵、秦部分北方长城的基础之外，经增筑扩修而成一万里长城，“西起临洮，东止辽东，蜿蜒万余里”。其后中国的历代王朝，汉、晋、北魏、东魏、西魏、北齐、北周、隋、唐、宋、辽、金、元、明、清等，都规模不等地修筑过长城，以汉、金、明三朝的长城规模最大，都达到了 5000 公里或 10000 公里。

作为一个完整防御体系的万里长城，除主体城墙外还有敌楼、关城、墩堡、营城、卫所、镇城和烽火台等，由各级军事指挥系统分段防守。以明长城为例，在长城防线上分设了辽东、蓟、宣府、大同、山西、榆林、宁夏、固原、甘肃等九个辖区，被称作“九边重镇”。从鸭绿江到嘉峪关全长 7000 多公里的长城上，每镇都设总兵官负责辖区防务，并在负有支援相邻军区防务的任务。明代长城沿线陈兵百万，总兵官驻守镇城内，而其余各级官员则分驻于卫所、营城、关城和城墙上的敌楼和墩堡之内。

长城城墙，一般平均高约七八米，底部厚约六七米，墙顶宽约四五米。城墙内侧设高一米余的字墙以防巡逻士兵的不慎跌落，外侧设高约 2 米的垛口墙（上部有望口，下部有射洞和榴石孔）以窥测敌情及射击和滚放榴石。重要的城墙顶上还建有层层障墙，以抵抗登上城墙的敌人。明代抗倭名将戚继光任蓟镇总兵时，对长城防御工事作了重大改进，在城墙顶上设置了敌楼或敌台，以供巡逻士兵住宿和储存武器粮秣，极大地增强了长城的防御功能。

关城是万里长城防线上最为集中的防御据点，明长城设大小关城近千处，著名的如山海关、黄崖关、居庸关、紫荆关、倒马关、平型关、雁门关、偏关、嘉峪关以及汉代的阳关、玉门关等。烽火台布局在高山险阻，作为长城防御工程重要的组成部分之一，它的作用是迅速传递军情。传递的方法是白天燃烟而夜间举火，以燃烟举火数目的多少表示来犯敌人的多寡。明代又在燃烟举火之外加放炮声，以增强报警的效果，峰回路转的险要之处的烽火台能三台相望。烽火台除传递军情的功能外，还为来往使节提供食宿、供应马匹粮秣等服务。

4.3.2 英国的劳合社

保险业作为人类应对各种天灾和人祸的一种复杂的工程设计,其思想和行为在古代就已经萌发。古巴比伦王国就曾向居民收取用以救灾的赋金,古埃及石匠曾建立过丧葬互助基金组织,古罗马军队也建立过阵亡士兵遗属抚恤互助组织。最早的保险单是出现在热那亚的船运合同(1347),最早的保险法是《巴塞罗那令》(1435)。保险业随着海上保险、火灾保险和人寿保险逐渐发展起来,到19世纪保险对象扩大到财产损失、人身伤亡、生存保险、责任保险、信用保险和再保险。20世纪保险业快速发展,从世纪初的1200家发展到世纪末的数以十万计,保险费总收入从1950年的20亿美元到1995年的2万亿美元,1999年世界保险业占国内生产总值平均为7.25%。在世界保险业的历史上,历史最久、名气最大、信誉最隆、资金最厚、赚钱最多的保险组织是英国的劳合社。

劳合社(Corporation of Lloyd's) 又称“劳合会社”(Lloyd's Institute)源于劳埃德咖啡馆,英国茶商劳埃德(Edward Lloyd,1648—1713)在1688年创建于伦敦塔街的咖啡馆。由于海陆商人经常光顾而逐渐成为商业信息交流场所,看到商机的保险人被吸引来此经营业务。在一张写有船主姓名、船舶名称和保险金额的承保单的末尾,愿意承保的商人顺序签署自己的姓名和承保金额,所需承保金额全部有人承保后保险合同即告成立。这是一种以个人名义承保的组织形式,承保成员各自独立地并以个人的全部财产承担其承保的风险责任。随着劳埃德承保人队伍及其影响的日益壮大,1871年英国议会通过一项法案使它成为一个正式的社团组织——劳合社。劳合社整体作为一个保险人,不仅得到英国金融服务局和英国政府认同,而且也得到欧盟和世界其他国家和地区的保险监管部门的认同。

劳合社的运营体制,包括管理机构和市场结构,使这个由保险人组成的集团,成为世界上最有实力的保险组织。管理机构是选举产生的理事会,下设劳合社监管委员会和劳合社市场发展委员会以监督和促进市场业务的发展,以及理赔、出版、签单、会计和法律等具体办事部门。市场结构包括出资者、辛迪加组织、管理代理机构和经济人。劳合社的出资者由公司(提供84%)和财力雄厚的个人(16%)两部分组成,辛迪加是若干出资者委托一位为代表人的承保组合,管理代理机构是负责辛迪加承保业务的公司,经纪人是代表投保人而独立于劳合社市场之外的营销人。当今的劳合社拥有160亿美元的资本,由18个理事、108个辛迪加和57个管理代理组织和更多经济人有条不紊地运转着。

劳合社是一个敢冒风险而又善于经营的保险人集体,它所承保的项目几乎无所不包,从人造卫星、航空客机、超级油轮,到脱衣舞女郎的大腿和主演惊险片《超人》的男影星的人身安全。每年承保的保费约78亿英镑(合105亿美元),占整个伦敦保险市场总保费的50%以上。它设计了世界上第一张盗窃保险单,它为世界第一辆汽车和第一架飞机出具了保单,它也是计算机保险、石油能源保险和卫星保

险的先驱。20 世纪几次震动世界的大灾难,劳合社都有承保并如数赔偿给所有的投保人。1906 年为美国旧金山大地震引起的火灾付出了赔巨额赔偿金,1912 年为英国巨型客轮“大力神”号触冰沉没赔付 250 万美元,1937 年为德国“兴登堡”号飞船在美国上空爆炸赔偿数百万美元,竟还敢于以 1.8 亿美元的巨额赔款为 1984 年卫星发射保险。

劳合社这个社团组织,确切地说,是世界唯一的专业保险市场。它只向其社员提供交易场所和相关的服务,制订保险单、保险证书等标准格式,出版有关海上运输、商船动态、保险海事等方面的期刊和杂志。至 1996 年,劳合社约有 34000 名社员(其中英国 26500 名,美国 2700 名,其他国家 4000 多名)并组成了 200 多个承保组合(辛迪加)。劳合社的每名社员至少要具备 10 万英镑资产,并缴付 37500 英镑保证金,同时每年至少要有 15 万英镑保险收入。劳合社曾长期规定每个社员要对其承保的业务承担无限的赔偿责任,鉴于近年来累计亏损 80 亿英镑已改为有限的赔偿责任。20 世纪 90 年代劳合社对其业务经营和管理进行了整顿和改革,允许接受有限责任的法人组织作为社员,并允许个人社员退社或转成有限责任的社员。这种改革无疑淡薄了劳合社的个人承保人和无限责任的特色,但并没有影响劳合社在世界保险业中的领袖地位。

4.3.3 认识环境的科学工程

在全人类的生存条件和环境日益恶化的严重挑战面前,国际上不同学科科学家共同提出了“全球变化”研究课题,以促进环境质量的提高,预测未来的变化趋势,协调社会发展与生存环境的关系。这种全球性环境问题及其对区域生存环境影响问题的研究,就其科学内容而言已经远远超出了传统学科的范围,不同等级的“自然系统”已经成为不同目标的研究对象,作为整体的环境科学研究是一项复杂的科学工程。1970 年代以来,全球变化研究成为国际科学的一个前沿领域,先后设计了三个彼此独立而又相互联系的重大国际计划:世界气候计划(WCRP),主要研究与全球气候有关的物理过程;国际地圈—生物圈计划(IGBP),主要研究全球环境变化有关的生物地球化学过程及其与物理过程的相互作用;全球变化的人类影响(HDP),主要研究人与环境的关系。而且由于全球气候观测系统(GCOS)、全球海洋观测系统(GOOS)和全球陆地生态观测系统(GTOS)的建立和完善,一个完整的全球监测系统逐渐形成。

从整体上解决环境安全的方法产生了“地球系统”的概念。从全球尺度上看,可以把地球看作是由相互关联和相互作用的各具特性的地核、地幔、地壳、水圈、气圈、生物圈、人类圈和地球空间诸圈层综合集成的、连续开放的、复杂的动力系统,也可看成是由相互作用和相互关联的固体地球子系统、表层子系统和地球空间子系统组成的复杂动力系统。正在形成中的地球系统科学,摒弃单一学科的研究方式,开展多学科地球环境的集成研究,试图发展一种包括地球系统各组成部分之

间物理的、化学的、生物的和人工的相互作用的地球系统的模式,并在地球系统模式和全球监测系统可提供的信息和资料基础上建立具有预测能力的全球和区域的环境模式,以进行环境变化的定量预测。

全球变化研究中最大和最突出的问题是全球气候变化问题,它不仅成为国际科学研究的重要课题,而且已成为各国政府在制定政策与决策的依据。如何预测气候系统的年际和年代际变化已成为重大科学前沿问题。国际科联(ICSU)与世界气象组织(WMO)联合制定了世界气候研究计划(WCRP),并从1986年已开始实施。通过这个研究计划,可以更深刻地了解各种时间尺度气候形成与变化机理,从而可以预测气候变化与异常。为实现WCRP这一目标又制定了各种研究计划,如热带海洋和全球大气(TOGA)研究计划、全球海洋环流试验(WOCE)研究计划、全球能量和水循环(GEWEX)研究计划、全球气候变化(CLIVA)研究计划和国际地圈—生物圈研究计划(IGBP)。围绕着气候系统变化的研究而组织全球性、多学科的综合研究计划正在蓬勃发展。并且,为了进行气候变化预测研究,国际上相继建立气候预测研究中心,如国际气候预测研究所(IRICP)、英国海德里(Hadley)气候预测研究中心、日本的气候系统研究中心、德国的马克斯·普朗克(Max Planck)气候研究所、中科院大气物理研究所的气候和环境预测研究中心等。大气物理学家们设计了大气环流模型(GCM)来模拟地球气候和预报未来气候变化。关于月、季时间尺度的气候变化与异常的预测研究正在深入进行,气候系统的年际变化预测的研究也在逐渐发展。

国际全球变化研究的焦点和重心从1990年代开始转向生态系统对全球变化的反应与反馈及其功能与过程方面。在国际地圈与生物圈计划中的核心项目“全球变化与地球生态系”(GCTE)已成为最活跃和不断扩展的研究领域。这类研究包括四种基本科学问题:生态生理学问题、生态系统的结构变化问题、全球变化对农林的影响问题、全球变化与生态复杂性问题。受大气环流模型的启发,生态学家们开始设计全球变化的生态模型。已经出台的有三种不同尺度的模型:生态系统水平上的斑块尺度模型、由若干相临斑块构成的景观尺度的模型和由景观结合而成的区域模型。景观尺度和区域尺度的模型进而联合成大陆和全球尺度的模型,即全球植被模型(GVM)和全球动态植被模型(DGVM)。人类正以大大超过生物圈自然演变过程的速率改变着全球生态系统的自然状态,其消极的后果已从全球增暖、土地退化、物种减少等方面逐渐反映出来。人地系统研究本质上属于人类生态学的范畴,而人类生态学的主要任务就是研究各种不同类型的复和系统及其与环境间的各种生态关系。

胡作玄

5. 工程分类

工程系统与科学系统、技术系统有许多共性,但也有许多不同之处。从分类的角度来看,首先要对它们的差异有明确的认识。工程系统与科学系统、技术系统的最突出、最明显的差异就是其中的主观因素、人的因素、不同人和人群的个体或群体差异,这些在研究科学与开发技术时是明确拒绝或有意回避的,这就是科学与技术的客观性原则。工程和工程系统从一开始就渗透着全然不同的主观性原则:工程是为了某人群为达到某种目的而设计并实施的,工程实现的全过程是人全程参与的,工程成果是人工物或人造物。工程从一开始到终了全程体现人们的价值观,从而价值是工程中最基本的不可或缺的组成部分。因此,从系统的观点看,标准的系统模式是输入—过程—输出,工程作为一个系统,其输入的最主要的要件是价值,在整个过程与输出中也离不开价值取向。工程研究不妨以价值为切入点。

5.1 价值及其分类

5.1.1 价值学

价值学是关于价值知识的元理论,是哲学的重要组成部分。很长时期以来,哲学的基本领域是本体论和认识论。本体论,也称为形而上学或存有论,自从亚里士多德来即被称为第一哲学。认识论也称知识论,它探讨人认识的过程与知识的本质。由于科学的发展以及由20世纪初起哲学的科学化,形而上学遭到颠覆,认识论成为哲学中真正的第一哲学。虽然到19世纪,科学的威力已为人普遍承认,但是在哲学内外所探讨的一系列问题仍然没有合适的归宿,特别是道德哲学或伦理学以及美学问题,此外,各门学科的分化与发展也形成了相应的哲学分支,特别是政治哲学、宗教哲学、法律哲学等等。到19世纪末20世纪初,一些学者把涉及主观价值判断的知识的元理论统一为价值论,以区别以实证知识为基础的认识论。到2004年,更有学者把价值论称为第一哲学^①。不管如何,21世纪的哲学已明确形成认识论和价值论两大部分。

5.1.2 价值的层系

在研究工程问题时,必须对复杂的价值体系进行分析。由于价值哲学研究至

^① McDonald, Hugh, Radical Axiology, A First Philosophy of Values, 2004.

今仍然十分初步,更谈不上与具体工程相结合。因此,这里只对价值的层系(hierarchy)进行初步的分类,以求显示工程研究中的需求与需要。

本文把价值粗分为四层,由人类的普遍价值到个人的需求分层,中间加入社会、国家、文化的价值以及社会的功利价值两层。

5.1.2.1 人类普遍价值

人类普遍价值分为四种:真、美、善、神圣。

1. 真

真是人类文明的最高价值之一,也是迄今为止其研究获得较为成功的领域。以近代科学为代表,真的价值体现得十分充分。从牛顿的时代起,科学的地位不断上升,不仅影响技术进步和物质生活,也影响社会及思维方式的进步。正是因为科学的成功,人们往往把科学与真理混为一谈。现代科学哲学的研究表明,科学理论具有相对性,也并非一成不变。不可否认,300多年科学进步主要应归功于人们掌握了研究科学的方法,但是,仍有大量的科学问题有待解决。尤其重要的是,科学只是真理大海的一小部分,大部分的真理是历史的事实与个人心理的事实,其中大部分难以为科学所概括。尽管其中大部分不一定很重要,但是有相当一部分十分重要。例如各种事故的发生、案件的侦破、犯罪的动机以及责任的追究等等都需要有求真的精神,而偏偏弄虚做假往往是社会的常态。在这方面,“真”的价值就凸显出来。因此越到现代,与求真有关的工程和程序日益增多和完善。在科学方面,自古以来就有天文台或观象台,近代有气象台网,大型加速器都属于科学工程。在刑侦方面,已有指纹识别体系、DNA鉴定流程等等,它们都是体现求真价值的工程系统。

2. 美

美是人类最重要的主观价值之一。从1750年起,美学就是哲学的主要分支之一。与科学知识具有极大客观性不同,美的价值与文化、社会与时代密切相关。美的价值历来为世人所尊重,这不仅由于自然的美、艺术的美使人产生美感,有愉悦心灵的作用,而且美的追求、美的意识对于科学的思维方式也有重要的贡献。美最重要的价值在于它是创造性、原创性、创新性最主要的体现者。抄袭、照搬、千篇一律、重复都是艺术精神的大敌,也是与美不相容的。与一般人理解相反,科学精神的核心是求实而非创新,科学以求得真实结果为目的,而不问结果是否触犯宗教教条或意识形态,更不向所得结果的美丑。通常所谓科学的创新实际上是一种方法上创新,使之能有效地接近真实。从这个意义看来,艺术(还有技术)体现人的最伟大的创造精神。艺术家真正像《创世纪》那样无中生有地创造整个世界,特别是古典音乐的大家,如,巴赫、贝多芬、勃拉姆斯等大作曲家,甚至都很少受民间音乐的影响,次一级的艺术则是模仿及改进自然。大多数工程,特别是建筑物,在实现其功能的同时,往往体现崇高与美,希腊的神庙,中世纪的教堂,中国的园林建筑等无

不体现美的价值。

3. 善

善恶、道德自古以来就是各种文化集中研究的对象,许多民族与文化没有知识论(认识论)、美学、逻辑等哲学分支,但有道德哲学或伦理学,这样,道德问题往往成为第一哲学。对大多数社会来说,道德构成社会最重要的原则及规范,形成文化传统和风俗习惯的主体。这些表现为道德具有社会性、文化性、民族性及时代性。它体现了道德发展的初级阶段,而且往往与政治、经济、法律、宗教等结合在一起构成统治者暴政的基础。这个阶段的道德已经反映在工程上面,例如有中国特色的贞节牌坊等。

这里所涉及的善是带有全人类性质的,最高级的善。它涉及两个方面:一是人的本质与人生的意义,人的价值,总之,什么是一个理想的人;二是人与人之间的和谐关系,其中既包括社会理想,如平等、自由、博爱等,也包括公德意识及公德心,自尊也尊重他人,以及和平等态度。

伦理观念与工程密切相关,近年来已有工程伦理学建立。从广义工程角度看,许多问题已经涉及伦理问题,特别是生物工程,例如克隆人,干细胞研究甚至转基因作物等。不久之前,生命伦理学与环境伦理学已成为公认的学科,其中有许多有争议的论题。

4. 神圣

神圣是有别于真、善、美的人类价值的最高理想境界,其主要显示方式是宗教,特别是基督教、伊斯兰教、佛教、印度教、犹太教等传布很广的世界宗教与民族宗教。正如其他人类价值一样,宗教有积极的方面,也有与之对立的消极方面。这些消极方面包括这迷信、狂信、盲目崇拜,宗教极端势力,与世俗制度合一实施残暴统治与宗教战争等。这些都是宗教与人性结合的产物。然而,宗教的价值在于它树立了一个完美的理想,例如基督教的上帝,他尽善、尽美、全知、全能,无处不在,无所不有,超越万物又内在于万物。代表最高的公平与正义等等。所有这些都代表着人的最高理想。尼采在声称“上帝死了”之后还要制造出他的代替物——超人,他的著作也被称为代替《新约》的新经典,这表示人们不仅从精神上需要上帝,而且在心灵上需要慰藉,行动上需要动力,而这些从儒家学说的修、齐、治、平以及争当皇帝的凡人身上是完全得不到的。由于上帝的神圣性,至少在上帝面前,大家都是平等的,至少在信徒之间是平等的。而在非宗教社会,人们总是制造出极端的不平等。人们必须去崇拜那些既无德也才的皇帝以及一层一层的官吏和“权威”,这只能培养事实上的奴才和精神上的奴才。他们不可能有什么理想,也不可能有什么创新,因为他们的理想就是取而代之,他们的创新也就是活学活用《孙子兵法》与《三十六计》。

神圣的另外一个价值是提高人的价值,其中包括含崇高、伟大(通俗讲是英雄),同时产生出奉献精神(如修士及修女被称为侍奉上帝及献身于上帝)及牺牲精

神(源于古代祭神的仪式)来。

从历史上看,宗教在提升人类精神、使人超脱功利方面有一定作用。不可否认,许多道德情操,例如泛爱众、兄弟情谊、同情心、慈悲为怀等容易在信众集体中产生。然而,宗教与功利相结合也产生一系列恶果:教派冲突和战争,从排他性到“圣战”,从不宽容到宗教极端主义这些都使宗教的神圣性荡然无存。

神圣的价值体现在工程各处:基督教国家的教堂几乎无处不在。伊斯兰教世界的清真寺也有不少。中国历史上的庙宇可说是无数,“南朝四百八十寺,”但中国佛教早已变了味,成为祈求保佑的地方了。

在历史上,宗教在政治制度、法律制度、教育体系、文化建设诸多方面有着不可忽视的影响。时至今日,许多与宗教有关的工程作为人类文明遗产仍然保留下来。

5.1.2.2 社会、国家、文化的价值

同理想价值一样,这些价值也有正面和负面两个方面。由于个人都生存在特定的国家、社会及文化的范围之内,因此产生更狭隘的价值观。与普遍人类理想不同,它仍具有强烈的社会及社团性。它们不仅要考虑自身的价值,而且要考虑其他社会、国家、文化的价值。随着历史和发展,文化冲突已是不可避免的现实。最典型的是国际主义、世界主义与国家主义、爱国主义、民族主义乃至种族主义的不同价值观所导致的各种后果。各种价值都体现在工程方面,也体现在历史进程当中,典型的是各国,特别是纳粹排犹政策以及塔利班炸毁巴米扬大佛等等罪恶行径。

这方面的价值有四个方面^①:

(1)生存价值

主要是个人、社会乃至国家是否有存在的价值,得到基本的供给,有基本的安全保障,受到保护。这种最基本的价值至今仍受到挑战,从残害、杀戮、酷刑、到各种歧视、性别歧视、年龄歧视、种族歧视、宗教信仰歧视等等在各个国家都是存在的,只是有程度的不同。

(2)共存的价值

由于贫富悬殊而且逐步拉大,强弱差别加大,民族仇恨、阶级仇恨有增无减,理想中的和谐社会,和谐世界至今还是遥不可及的理想。专制制度,反对民主与法制,对人权的忽视,特别是利益的驱动更使冲突与战争不断,和平共存在国与国之间仍有极多的困难。

(3)成长的价值

个人也好、社会也好、国家也好,在基本解决内在基本需要之后,在不同的价值观推动之下,向不同方式发展。在大多数情形下,出现享乐型和扩张型取向。这造成社会、经济、政治的不均衡,产生出矛盾及冲突。由于国家主权的的关系,许多国家

^① 参见 K. Lederer, Human Needs, 1980.

不负责任的扩张是以全球资源和环境恶化为代价的。人们难以制止日本人捕鲸,也难以制止许多国家高能耗制造业的疯狂发展。功利价值与社会非功利价值永远处于矛盾之中。

(4) 完善的价值

社会逐步由落后向先进方面转化。不仅在经济上有所改善,而且在文化上有所发展,这种文化不是局限在民俗文化,而在高雅文化方面应得到鼓励。社会应该遏制恶性的浪费、享乐、权力集中、特权分配体制,使社会走向健康和成熟。对于未来文化,特别是科学、艺术、技术、学术,应该合理鼓励,而非放在市场之中,听任劣胜优汰,只有这样,社会才会有真正的进步,逐步完善,才能实现理想的目标。

5.1.2.3 功利价值

上述两节的价值偏重于理想的、抽象的价值,它们在工程实践中肯定有着潜在的影响。但是,每一个具体工程的设想、设计、实施都涉及人或集体的意志、目标、理想、需要,而这些都最终落实到工程的功能及效益上。功能和效益显然有矛盾,任何价值标准都有侧重点。一个国家要发展核武器往往不计成本而只考虑功能,但开发商盖楼很可能只顾经济效益而根本不管工程质量。但不管怎样,所有工程都需要考虑功利价值。

功利价值主要有如下四方面:

(1) 功能或功效

任何工程都要达到某种目标,得到某种成果。这种成果应该完成或接近最初的设计与设想,体现出现出各种价值。工程系统的复杂性在于,一个工程往往是多目标、多功能的,最典型的是水利工程兼有蓄洪和发电的功能,但它也有生态环境方面的负面影响。这些在工程设计中是必须考虑的。

(2) 经济效益

简单说就是花较少的钱办更多的事,在完成同样成果的前提下,实现费用的最小化。对于复杂的工程,有专门的分支研究这个问题,这就是价值工程(value engineering)。

价值工程是20世纪40年代产生于美国的管理方法。在二次大战期间,由于军工产品需求量大,另一方面原材料紧缺,价格大幅度涨,而且采购也十分困难。这时通用电话公司设计工程师麦尔斯(Miles, Lawrence)采用同样功能代用品的方法,不仅解决原材料短缺,而且降低成本,提高了质量。他根据这些经验在战后对功能、费用与价值的关系,进行深入系统的研究,提出功能分析的方法,强调区分必要功能和非必要功能,消除不必要功能,最后得出一套以最小消耗提供必要功能,获得较大价值的科学方法。他在1947年所发表论文《价值分析》标志价值工程的正式诞生。价值工程的名称是美国国防部正式改名的,此后美国大多数工程项目普遍应用价值工程。1961年麦尔斯出版第一本价值工程专著,价值工程在日本及

其他各国推广。

在价值工程中,价值(V)、功能(F)及成本(C)由下述简单关系联系

$$V=F/C$$

由此可以得出提高价值的各种途径从抽象的角度来,成本是各种资源的消耗。因此降低成本从消极方面来看是尽力减少资源的浪费,从积极方面来看,则包含资源的保护及可再生能源的开发。

(3)时间效率

在完成同样的工程前提下,时间的节约往往是最大的节约。时间节约往往带来工时的节省,从而节省开支,增大经济效益。

时间效率的考虑最早到起管理科学的产生与发展,泰勒(Taylor, Frederick, 1856—1915)对于工作操作的研究导致科学管理的产生,他也被誉为“科学管理之父”。他的着眼点还是初步的,注重于减少工人在操作中浪费的时间和多余的动作,然而单是这样已可大幅度提高生产效率现代工程是复杂系统,由多种不同的过程链组合而成,它们之间不仅有整合问题,而且还有时间的协调问题,这方面问题在 20 世纪 90 年代形成同时性工程或合流工程。

(4)可靠性

任何一项工程的目标最后都落实到使用上。工程寿命短、抗风险能力差或需要大批人力、物力、财力来进行维护、维修,都是工程的最大浪费。国内外都有许多“豆腐渣工程”,还有各种有安全隐患的工程,更会造成大量的人员伤亡和财产损失。

不可否认,由于工程是复杂系统,其中体现的价值有很大不同甚至相互矛盾。特别是近年来,人们更为注意环境价值和公共价值,而不仅仅是满足少数人或集团的私欲。从这个意义上来讲,功利主义的价值观应该受到关注,也就是功利目标应该是满足最大多数人的最大幸福。这只是一个理想的境界,但是含有合理内核,就是必须把各种资源的浪费降到最低。这也导致现代资源工程、环境工程、生态工程等的产生。

5.1.2.4 个人需要

所有工程最初都来源于人类的动机,动机是人类生存与发展的内在动力,而需要则是动机产生的基础和源泉。心理学家对于动机与需要有很多的研究,而公认的经典论述则是美国心理学家马斯洛(Maslow, Abraham, 1908—1970),他的需要层次论最早出现在 1954 年出版的《动机与人格》一书中^①。

马斯洛把人的基本需要分属五个层次,由低到高排列,低层次需要是高层次需要的基础。一般来讲,只有在低层次需要获得满足之后,才进一步产生高层次的需

^① Maslow, Abraham, Motivation and Personality. 中译本《动机与人格》,许金声译,华夏出版社,1987。

要。五个层次的需要依次为:

(1)生理需要

维持个体生存乃至种族延续的需要。包括饮水、食物、性的需要。

(2)安全需要

维持个体存续、提高生活质量的需要。包括健康的维持,消除或降低不安全隐患,如天灾事故等。

(3)归属与爱的需要

这是在个体生理需要及安全需要基本满足的社会需要。在灾害、战争等发生时尤为重要。

(4)尊重的需要

个人对自尊以及被他人尊重的追求。这是人在社会群体中确定社会地位的需要,也是和谐社会的必需。

(5)自我实现的需要

指实现个人理想、抱负,充分发挥个人潜能,成为自己所期望的人物。这个概念来自马斯洛的独创,而且与前四种需要有本质的不同。马斯洛强调前四种是缺失性需要,它体现个人的生物性及社会性方面,也是个人发展的早期阶段陆续产生的。但是,人与其他动物不同之处在于它具有个性、具有理想,能够超越自我、实现高级价值的诉求。它们存在对于整个社会是极为重要的。最典型的是,正是由于人有自我实现的需要,人的社会才有创造性,才能进步。马斯洛特别强调个人这种不同于缺失性需要的成长性需要。缺失性需要不难满足,而成长性需要则是永无止境,永不满足的。良性的自我实现推动社会向高级阶段发展,它提供个人创造性的发挥,使科学与艺术不断进步,到达真、善、美的高级境界。

从上面的价值层系与个人基本需要的层次在现实生活中,特别是工程实践中形成了一个复杂的价值取向的目标网。不同社会、不同文明以至不同个人都有一套现实的人生价值观,这些价值观的差异、矛盾导致社会的冲突。占统治地位的個人和阶层往往把自己的价值观以工程的形式加以传播、有的甚至形成一种传统。因此,我们不得不稍加分析。

最为常见的价值观是追逐财富、物质主义、拜金主义、享乐主义的价值观。由此派生和是追求权力、财富以及与之相关的谋求特权以及争取社会地位的价值观。对于权力和财富的追求是造成社会斗争不断的根本原因。社会斗争造成一种价值变形,也就是好战、好斗、谋取成功、追求胜利乃至追求荣誉、地位的个人人生观。这些从根本上来讲,是利己主义的。中国皇帝的目标主要就是夺取政权及巩固政权,所有的工程建筑均为其享乐服务,而其文化建设也完全为维护专制统治服务,这在清朝已达到登峰造极的地步。他们已完成一整套维护皇朝统治的物质工程(如故宫、颐和园等)、社会工程(四库全书以及大量禁毁书籍)等。因此,在讨论工程时,不能不对这些价值取向有所考虑。

5.2 工程的范围

工程与技术一样,似乎没有一个公认的分类标准,而且工程与技术混在一起分类。为了做出一个较为合理的分类,需要对于已有的工程进行甄别,另外对于随着技术与社会进步不断出现新的工程加以确认。因此,本文从两条途径考察工程的分类:一条是通过历史上工程的演化来看新兴工程是如何逐步扩大及发展的,另一条是对于现有的工程及准工程从逻辑上进行合理的分门别类。

现有的工程门类比较多,最新的《美国百科全书》(Encyclopedia Americana)工程(engineering)条目中认为,工程至少包含 50 个专门领域,其中按字母顺序列出航空工程、航天工程、生物工程、陶瓷工程、化学工程、土木工程、电机工程、工业工程、材料工程、机械工程、冶金工程等。在其他条目中,还专门介绍一些非传统工程例如人因工程(Human engineering,它也称为 Human factors engineering,也译人的工程、人类工程等,人因工程最早是台湾译法)、系统工程等。而《不列颠百科全书》(Encyclopedia britannica),只强调其中四大工程是近代最为主要的工程,它们是土木工程、机械工程、电机工程和化学工程;这种分类法比较简要和科学,对于 17 世纪到 20 世纪上半叶,这种分法比较恰当,本文在历史上的工程一节中,主要参考这种分类方法。其他各国百科全书大同小异,多遵循《美国百科全书》的罗列方法。

工程系统的研究同科学系统论、技术系统论一样,也注重知识方面。从这个角度讲,米尔德林等编的《工程的信息资源》提供了更多的,特别是新兴的工程分支:除了前面所列的,还有能量工程、核工程、安全工程、控制工程、电子工程、通信工程、海洋工程、环境控制工程,运输及交通工程、结构工程、过程工程、矿业工程、生物医学工程、以及 20 世纪 90 年代出现的整时工程(Concurrent Engineering)等,这些对工程分类及工程未来提供了有关的参考。更有国际权威的《工程索引》则把工程分为 38 个分支,它们是土木工程,建筑材料,建材性能检测,交通运输,水利及供水工程,污染、卫生工程、废弃物,生物工程,海洋及水下工程,工程地质学,矿业工程,石油工程,燃料技术,综合冶金工程,金属冶金工程,综合机械工程,电厂与电力机械工程,核工程,液流力学、水力学、气体力学与真空,热与热力海陆空,航空和航天工程,汽车工程,船舶工程,铁路工程,物料搬运,综合电子工程,电子学与通信工程,计算机与数据处理,控制工程,光与光学工程,声与声学工程,综合化学工程,过程产业化学工程,农业工程与食品技术,综合工程,工程管理,工程数学,工程物理学,仪器与测量。

上面所涉及的工程主要是传统意义下的实物工程。在工程系统的研究中,工程的概念有相当广泛而深入的推广。这些推广往往并不严格,甚至很不严格,但是,应该在工程系统论的理论指导下,透视其工程或非工程的本质属性,在工程分

类的研究中予以考虑。至少进行适当的澄清。^①

广义工程可以分为如下四类：

(1)信息工程类 随着计算机、网络等技术的发展形成了一组以软件为主的新工程门类,这些工程已得到公认,其标志是出现学会为主要国际性的组织和会议以及专业期刊,换言之,它们已被划入正式工程范围,只是其成果不是实体,而是软件、数据库、程序、甚至标准、协议等等,这类工程包括软件工程、(狭义)知识工程、信息高速公路、快捷检索系统等。

(2)一般知识工程类,这类工程与上述工程类不同之处在于它的成果不仅是工具,同时具有科学—技术—工程相结合的特色。相当于在1962年形成的“大科学”的概念。这类工程在第二次世界大战前后已经出现,例如英国的雷达与战斗机协同的工程,这一方面导致德国轰炸英国的失败,另一方面导致运筹学的诞生。其他的工程还有密码破译与密码设计工程,这一方面导致德国深蓝密码的破译,一方面推动密码学(Cryptology)与密码术(Cryptography)等热门学科的产生。维纳关于火炮系统研究导致控制论的产生,大量计算工程导致电子计算机的诞生。战后多种类型的加速器、发射哈伯太空望远镜、发射气象卫星以至探月计划、火星计划以及类似的航天计划,地质勘探与遥感计划等等都可以归结为科学工程之内,现代最有影响的科学工程包括曼哈顿计划,登月计划,人类基因组计划等。这些都体现现代科学工程极端复杂性的特点。

除了上述大科学工程之外,也有小科学工程,其中包括古生物发掘以及考古挖掘等,从技术结构上它们与探测挖掘等似乎并无不同,但目的迥异,这显示工程中价值因素的主导地位。

科学工程也有网络性实体,例如气象台网,地震台网等。它们显示工程的多目标性,这是工程系统的主要特点之一。

人类现在已存有海量的信息,在部分知识湮没无闻,如何从这些文献中整理出有用的知识是知识工程的长远目标之一。

(3)社会工程

社会是十分复杂的系统,它与自然系统或食物系统不同,它的终极产品不是被改造的自然,也不是人工建造的实体,而是一种体制或制度。典型体制的建立完全带有工程的特色,具有设想,设计,实施及逐步改进,最终成果三部曲的过程,而且目标及目的也十分清楚。与社会科学四个门类相对应,可分为政治工程、经济工程、狭义社会工程,文化工程等,但除此之外还有具有强实践性的工程,最典型的是法律工程、教育工程、安全工程、福利工程等。

(4)元工程

在一些粗糙的工程概论中,存在一些与每项工程都有关的问题和分支领域,我

^① K. W. Mildren, P. j. Hicks, eds. Information Sources in Engineering 第3版 London Bauker-Saur, London, 1996.

们把这类工程归入元工程类,这样避免把比如说采矿工程与设计工程混分在一个层次上。

元工程最典型的领域是设计工程。通常只是简化为设计。但的确存在学术期刊《设计工程》^①,它们往往更多地命名工程设计,但两者并不相同。一切工程都由设想及设计开始,设计在工程中起着举足轻重的作用。工程在设计阶段也有着重要的流程。这与施工的流程都具有系统及复杂性,设计有许多关键问题,特别是理想目标与现实可行性的矛盾,这些对于设计者的创造性是一个挑战,设计者体现前所未有的创造性,因此设计工程中包含创造工程的因素。

元工程另一重要领域是管理工程。管理工程常称为管理科学,实际上它既非科学也非技术,而是具有特殊组织形式的工程。科学与技术都是相当客观的知识领域,但管理较多的是主观因素与工程现实的特殊性,管理贯穿在工程的整个阶段,它是决定工程成败的关键。

另外一些元工程都归因于工程中的个人因素与主观因素,工程从设计、施工、运作及使用都与人有关,因此,人的因素在所有工程中都应考虑。这类工程包括人因工程、人一机工程等。

工程中的调节控制以及自动化都产生相应的元工程,如控制工程,自动化工程等。

这四类广义工程已经比较多的得到公认,因此,必须纳入工程研究及分类的考查范围,但是,在这里也必须提到国内对工程过多地象征性使用。例如希望工程等。比较接近工程含义的是一系列金融工程,如金卡工程、金桥工程、金税工程等,其意义只是表明大型项目。

5.3 历史上的工程

5.3.1 古代及中世纪的工程

工程贯彻人类历史当中。在传统社会中,工程基本上是建造工程,也就是利用自然的材料,主要靠人力,建造建筑物,供人类的需要。因此,建造工程是最基本的工程,也是最典型的工程。建造工程的成果累累,现存的建造工程几乎都成为人类文化遗产。古埃及的金字塔、中国的长城是其中最典型的例子。这些建筑代表工程上的奇迹,至今也令人叹为观止。它们无一不显示出工程的典型特征,对它们的分析有助于了解工程的本质。

工程的时代性在这些古代工程中显示无遗,它们极其宏伟,但是思想却显示出当时的狭隘的价值观念,在宗教还不发达的地区,建筑都显示统治者(在中国就是

^① 有两种以设计工程命名的期刊,月刊“Design Engineering”由 Mrampian Grampian 出版,另一种同名期刊,每年 10 期,由 Maclean Hunter 出版。

皇权)的威严以及对来世的信念。中国的统治者不仅建造华丽的宫殿,而且盖有大的地下陵墓。地下陵墓往往比地上陵墓保存的更久远,从埃及的金字塔、骊山秦始皇陵,到吴哥窟都是如此。除中国的建筑之外,其他国家的建筑大都与宗教与信仰有关,因此从一开始,公共建筑比较发达。

公共建筑最主要体现是庙宇和神庙、教堂及清真寺等宗教建筑,它们不属于个人,而且体现共同信仰的神圣价值。马尔他神殿甚至比金字塔还要久远。雅典的巴特农神庙遗迹犹存。印度的阿丹陀石窟与中国后来的中国石窟更有宣传功能,北美印第安人也修建了阿兹特克大神殿。它们的认知价值、美学价值、神圣价值都不可低估。而最为伟大的宗教建筑则是中世纪大教堂以及伊斯兰教清真寺。

真正意义下的公共建筑似乎来自古罗马,典型的是公共浴场和大斗兽场。最具有实用价值的则是著名的罗马大道。罗马的公路网单在北非就有 15000 到 20000 千米,它们不仅有军事功能而且对于个人及商贾都提供快捷的通道,有意思的是,它对基督教的传播也有深远影响。古罗马的公路网为另一类工程实体—网络提供了样板。另一项罗马的公共工程是罗马水道,它反映西方最古老城市的市政建设。而东方的公共建筑也有不少,主要是驿道与水运工程(如京杭大运河),它们主要是为皇帝服务的。但水利工程如都江堰及大坝则是有利于农业生产的。

从用途来看,古代的建筑还可分为民用工程及军用工程。也有许多工程是军民两用的,例如桥梁。典型的军用工程就是堡垒、碉堡、要塞、城墙等防御性措施。

5.3.2 近代工程

到了 17 世纪,特别是 18 世纪工业革命以后,工程开始系统化,机械化并形成独具特色的专业分支。古代的建造工程发展成为土木工程,它是第一个工程分支,它不仅发展了古代桥梁、道路及各种建筑类的工程,更发展许多新的项目,特别是交通与运输工程,如铁路工程、隧道工程、港口工程、机场工程等。随着城市的发展,市政工程例如上下水工程、卫生工程的建设也逐步开展,属于土木工程的扩张还有城市规划这类大工程项目的设计和实施。由于社会的进步,公共建筑物也呈现多样化的趋势,如市政厅、会议厅、剧场、音乐厅、图书馆、博物馆、体育场馆、电影院等,另外大型工厂、商场乃至行政及事业单位的增多,完全改变城市的面貌,土木建筑在任何时期永远是第一工程。

18 世纪末工业革命的兴起及普及导致机械工程的产生,各类工业机械及发动机的设计、研制、试验及开发,导致工业化及机械化时代的到来。

19 世纪电磁学与化学发展改变了工程的面貌,电气工程与化学工程应运而生。电力工程完全改变能量供给与分配的方式,电磁波的产生与利用发展出通信工程、无线电工程、计算机工程等。化学工程则为大规模制造化工产品提供了基础,它进一步导致石油工程与材料工程的发展。

工业革命之后 200 年间,由于社会及技术的发展,一种新型的工程样式—网络

工程发展起来。现代社会可以称之为网络社会,人的各种必需品的供应方式有着明显地改变。自古以来,必需品的供应及消费方式基本上有四种,并以水的供应为例来说明,显然它们都涉及工程。

(1)自己供给自己消费,如自家打井,自己用。

(2)个别供给,个别消费,如各地掌握淡水资源的人通过市场机制卖水,消费者通过交换获取水来用。

(3)集中供给、集中消费,如古罗马的公共浴场。

(4)集中供给、个别消费。如现在自来水公司供应自来水。

所有这些方式都在过去出现过。但只有在近代,第4种方式成为文明社会的主流,我们把它称为网络方式,它对工程的发展有重要影响。为此,必须建立网络工程,当然还有供给者的工程。古代的网络工程主要是道路或运输网络。工业革命以后,相继出现铁路交通网络、电报网络、自来水网络、污水污物排放网络(这在雨果的《悲惨世界》中有极为生动的描写)、电话网络、电力网络、煤气网络、集中供热、无线电广播网络、电视网络、有线电视网(这两项是第二次世界大战以后才有的)、公路网及超级公路网等,建立这些网络的工程一般都是技术含量高、耗资不菲的工程。典型的例子是19世纪后半建的大西洋海底电缆,当时英国领头的物理学家凯尔文勋爵就关注这件事。网络工程实现了许多功能、提高了效率和效益,在某种意义下也实现了一定的公平,对社会进步有重大意义。当然,网络工程也有不足之处,典型的是出现事故及故障,例如停水、停电等。这时需要其他方式来补充。这个缺点也显示工程的使用及维护问题在工程系统论中的重要性。

近代社会还包括一系列社会工程创新。1750年以前,几乎所有社会,政治制度均为君主制度、寡头统治、封建统治。其后,1776年美国革命与1789年法国大革命出现了制度及法律的创新。有许多一直沿用(经过若干修补)至今。典型的是1787年通过的美国宪法与1802年颁布的拿破仑民法典。在这个过程中,金融工程也日益完善,其中包括银行法、保险法以及19世纪末的证券市场制度和各种反垄断法。由中国的现实可以看出这些“工程”是多么难以建立。另一项巨大工程是教育工程,先进国家的基础教育也是由这时开始普及。

5.3.3 现代工程

第二次世界大战以后,工程领域有着突出的、质的变化,它是我们据以划界的根据。当然,任何时期都具有同过去时期相似和相传的特点,从工程领域来看,随着科学和技术的进步,传统工程有着重大的发展,例如建筑工程出现更高的摩天大楼,桥梁工程出现更大跨度的桥,技术层面、施工方法等方面都有很大突破,自然由此也产生许多新问题。这些向高、大、精、尖等方面的发展从工程系统论的角度看,多少还是量度的变化,对整个工程系统的构架还不能说有着巨大的改变。

工程领域在这个时期比较大的变化是一系列全新的工程领域的出现,还有一

些传统的工程领域有着明显的扩张以至于整个工程领域的面貌有着系统性的改变。这种情形在材料工程中表现的最为明显。在二次世界大战之前,材料工程的内涵大都分散在化学工程、冶金工程、陶瓷工程等领域之中,而近 50 年早已超出这些狭窄领域,而形成材料科学与工程的新概念。1960 年左右美国开始用“材料科学”一词,第一部《材料科学与工程百科全书》在 1986 年出版。但是,重要的不在于提出包罗万象的名词,而是内涵的改变。在第二次世界大战之后,材料的研制从以经验为主过渡到以科学设计为主,从而进入“设计材料”(materials by design)时代。^①材料设计的概念始于 20 世纪 80 年代初,随着有关学科的发展,设计材料愈来愈受到重视。从工程系统论的角度看,设计是工程的最重要的组成部分,而且还是启动工程的要件。正是由于设计的出现,材料工程大大改变传统工程的面貌。

材料工程还不能算是崭新的领域,二次大战后出现的全新工程有核工程、航天工程、生物工程,而最重要的则是信息工程乃至更为一般的电子工程。信息工程或电子工程的出现不仅仅是一个全新工程领域的出现,而且更是影响所有其他工程领域,这也是为什么第二次世界大战结束是划分工程分期的理由之一。

近代与现代的分期从工程的角度看还有一个更为重要的理由,这就是第二次世界大战结束之后,形成了一个庞大的学科群,其中的思想直接影响了工程乃至其他领域的发展,其标志是 1948 年出版的维纳(Wiener, Norbert, 1894—1964)的《控制论》。现在我们熟悉的许多概念及思想,大都在其中有所反映,有的也发展成为独立的学科分支。其中包括系统、控制、信息、通讯、自组织、调节、反馈、自繁殖、自学习、自适应、自动控制等。另一位伟大数学家冯·诺伊曼(Von Neumann, John, 1903—1957)提供了另外一套概念,特别是对策论、决策理论、人工智能、计算机科学等,同时产生出系统工程、系统分析、运筹学等分支。

这些先驱的贡献最终导致一系列新学科的建立,特别是钱学森的《工程控制论》(1954)的出版为控制论与工程的结合奠定基础。此外还产生生物控制论、经济控制论、社会控制论等,它们形成生物工程、经济工程、社会工程的理论基础。控制论与系统科学的思想与软件技术相结合影响近年工程设计及工程实践,促成整个工程领域的革命性变化。与此同时,工业工程、质量工程、价值工程等新兴领域也逐步建立及完善。

5.3.4 面向未来的四大新兴综合工程

根据工程系统论的分析,工程和工程系统具有明显的价值依赖性,价值综合互动性,扩展性,复杂性等特征,因此,从历史发展来看未来,四大新兴综合工程将是人类最为关注的工程系统。它们是:

^① 师昌绪等主编 中国材料工程大典(共 26 卷)第一卷 P8—9,化学工业出版社,2006。

- (1)安全工程;
- (2)环境工程;
- (3)资源工程;
- (4)文化工程。

这四大类工程在一般研究中,往往互相包含或交叉,特别是前三类工程,这里进行如此分类的理由同前面一样,主要是依据价值的分类以及不同的个体和群体的社会目标的差别。

安全工程一般是处理威胁人或人群的生存与发展的突发性事件的。其中典型代表是自然灾害的防灾、减灾工程。灾害具有很大程度的不可预测性,而且往往会带来严重的后果。在当今的条件下,大多数灾害是人力难以控制的,尽管从长远看,科学和技术的进步对预报,减灾技术等会逐步进步,但当前的主要目标还是使人员及财产损失极小化,后果的影响面及持续时间减少。相反,环境工程则是使人类的生存环境优化,使环境改善极大化,尽管对此仍有不同的认识,但环境工程与安全工程的价值取向是相反的;环境工程的目标是积极的进取的,而安全工程是消极的、防御的。当然,它们之间也有密切关系,人对环境的破坏终将造成各种灾难,然而,灾难的出现和后果以严重性仍有不同的评价,现存的体制也很难遏制环境的破坏。这两项工程又与资源工程有关。但是,这里的资源工程不仅是对自然资源的开发和利用,更重要的是人力资源的开发及优化以及知识资源的创新。文化工程虽然包括知识工程,但它的内涵远远超过知识工程的范围,它同人类千百年历史一样,还涉及宗教、意识形态、原始文化等方面,更涉及人类多种文化如何和平共存、如何共同发展等一系列问题。这里面也有许多涉及交流、沟通、相互理解之类的哲学、科学、技术多层面的主题。早在一个多世纪之前,许多和平主义者创立多种世界语[最后只有柴门霍夫(Zamenhof, Ludwik Lejzer, 1859—1917)的“世界语”(Esperanto)得到流行],但和平的梦想很快就破灭。这也许是最早的“语言工程”,时至今日,语言与文化传播仍然是当前世界一个非常重要的未解决问题。关于未来工程的论述将在第15章做一些展开,本章只局限于对这四类工程进行次级分类。

5.3.4.1 安全工程

安全工程是以消除或减少人及其他有价值的对象遭到毁灭、伤害、损失为目标的。造成不安全的原因主要分四类:自然灾害,由于人类活动导致的资源、环境、生态灾害,人为灾害,社会灾害四大类,因此,安全工程实际上是建立防灾、减灾、救灾的系统,其内涵包括科学与技术知识、预警及管理体系以及对风险的分析和评估等。这里所涉及的安全工程更大程度上是全球性的、大范围的体系,它与过去只局限一人、一家一户乃至一个单位的局部情形不太一样,正因为如此,它基本上需要国际合作,也是面向未来的大型巨型工程,总之,它关乎全人类的未来发展。正因

为如此,由于人与人、国与国之间的利害冲突,全球性的安全工程的建立也是十分困难的。

自然灾害因其来源分为天文(或地外)、大气圈、地圈、水圈、生物圈引发的灾害。它们发生频度与影响大小各有不同。比较频发且造成较大损失的为地震(以及引发的海啸)及气候灾害,特别是洪涝干旱以及飓风(台风、龙卷风)和其派生的滑坡、泥石流等地质灾害。自然灾害具有突发性和难于控制,因此,防灾减灾工程的重点在于监测系统的建设和信息和预警系统的完善。救灾系统的有效是减少损失的重要条件。

由于人类活动所造成的灾害主要是造成环境污染、生态破坏、资源枯竭、导致人类生存环境逐步恶化。这部分在环境工程及资源工程中有所论述。

人为灾害多由人的行为造成,典型的是火灾。很大的一类人工灾害由企业造成,现在国内频发的煤矿事故就是一例。核电站与化工厂也是事故多发的企业。人为灾害的重要一类是交通事故,包括民航客机、火车,而最多的事故是由汽车引发的。

社会灾害典型的是战争,以及其他暴力和非暴力活动。这种灾害造成人的生命和财产巨大损失,也是建立和平的世界和和谐社会的大敌。

安全工程可分为:

- (1)防灾减灾工程,其中包括监控系统、预警系统等的建设;
- (2)救灾工程;
- (3)灾后重建工程;
- (4)全球和平与安全工程。

5.3.4.2 环境工程

自从有人类以来,特别是工业革命之后,由于人的活动造成环境与生态的严重后果。现在往往不细分环境与生态的破坏,不过大致说,前者常指局部的、短期的灾害,特别是污染和废弃物的排放,后果则带有大面积甚至全球性的,长期的往往难以挽回的性质,例如水土流失、荒漠化、盐碱化、酸雨、湖泊富营养化等。当然,两者不能截然分开。

环境工程的分类按通常分法^①作为应用环境学的一部分又为环境污染、防治工程技术及原理、环境污染综合防治技术环境规划、环境系统工程、环境水利工程五部分。

我们对环境工程的分类如下:

- (1)环境保护工程 如建立自然保护区。
- (2)环境污染防治工程 如建立环境监测系统、污染整治工程等。

^① 孔昌俊、杨凤林,环境科学与工程概论,P.13,北京,科学出版社 2004。

(3)环境优化工程 如盐碱地改造工程、沙漠绿化改造工程等。

(4)开发性生态工程 如按照生态学对生物种群进行选择匹配的林业工程,建立起乔木、灌木、草本植物等互利、共生的复合生态系统。

5.3.4.3 资源工程

资源、环境、生态、灾害等问题经常是联系在一起的,本章做这种分割完全是从工程的角度来看的。人类有史以来为了生存及繁衍,必须要利用自然资源,其后,随着人类经验与知识的积累,更有效的利用资源并改造成为所需要的人工产品,近年来,更是对自然资源掠夺性的开发,造成未来资源枯竭与环境生态灾难。资源工程的提出在于合理而有效地利用自然。在1972年6月在瑞典斯德哥尔摩召开的联合国人类环境会议上,明确提出再生资源与非再生资源的划分,并提出必须维持地球再生资源的生产力和非再生资源必须共享但不应消耗殆尽。当时也提出可持续发展(sustainable development)的概念,但没有详细展开来论述,可是已明确注意到拓展永续资源,例如风、地热、潮汐、太阳能等以及再生能源如生物质资源的开发和利用。遗憾的是,由于经济利益驱动,国际上对石油资源的掠夺以及中国对煤矿破坏性开发一直没能得到遏制。另外,人口、资源、环境、经济社会是互动的,根本问题还是人口过多和过快的增长。

从工程系统论的观点出发,本章讨论的资源不局限于传统的自然资源,更谈到其他方面的资源;不仅考虑资源的被动开发、利用与保护,而更考虑资源主动创造及有效发展。我们把资源做如下分类:自然资源、人力资源、人工资源、社会资源四大类,它们各自对应着相应的工程。

自然资源按照地球四大圈分为气候资源、水资源、土地及固体地球资源、生物资源。它们分别为人类提供物质及能量。人类近年来对它们有重大的破坏造成诸多的环境和灾害。尤其严重的是,已造成不可挽回的资源枯竭及短缺。

人力资源将是未来资源工程一项最重要的组成部分。长期以来,大量人口只是自然界生态平衡的一部分,到了近代时期,成为劳动力,只有少数人成为对未来社会发展的积极力量。未来的资源工程应该在原来教育体系的基础上更好地提供开发人的潜能的环境,使得更多的人在各方面有着有利于全社会进步的发展,由一个简单的破坏者、劳动者、消费者变成建设者、创造者、价值的生产者。

人工资源是指经过人力改造和创造的实物资源和精神资源,特别是科学资源、技术资源以及过去的工程、建设成果。

社会资源包括传统文化、制度、历史等等有人价值的文化工程。

资源工程可分为资源利用工程、资源开发工程、资源保护工程、资源改造及优化工程。

5.3.4.4 文化工程

文化和文明尚没有公认的定义。一般认为文化包括物质文化、制度文化、精神

文化三类。英国著名人类学家马林诺夫斯基 (Malinowski, Bronislaw, 1884 — 1942) 则把语言也归入文化的要素之中。物质文化由物质工程和技术来实现, 制度文化由社会工程来实现, 因此, 这里的文化工程主要是在狭义的意义下理解的。这样, 文化工程大致可划分为:

- (1) 语言工程;
- (2) 文化互动、交流、传播工程;
- (3) 传统文化及文化多样性保护工程;
- (4) 新文化创建工程。

5.4 工程分类系统

根据前面的论述, 现把工程系统按照各种分类标准总结如下:

5.4.1 狭义工程分类

在进行更一般的工程分类之前, 我们对通常意义下的工程进行分类, 这一方面要与一般的工程的概念接轨, 另一方面呈现不同历史时期工程的发展和扩张。所有的工程都延续至今, 但内涵往往有很大的变化, 其中最主要的是范围的扩大以及各领域的综合和交叉。在这个意义下, 我们按时期分类, 只须注意不同时期内涵已有很大变化。分类采用四四制。

5.4.1.1 按时期分类

1. 传统工程

- (1) 农业水利工程;
- (2) 建造工程;
- (3) 矿冶工程;
- (4) 运输工程。

2. 近代工程

- (1) 土木工程;
- (2) 机械工程;
- (3) 电机工程;
- (4) 化学工程。

3. 现代工程

- (1) 电子工程;
- (2) 生物工程;
- (3) 材料工程;
- (4) 能源工程。

4. 近未来工程

- (1)安全工程;
- (2)环境工程;
- (3)资源工程;
- (4)知识工程。

5.4.1.2 按过程的分类

每一项工程均为具有复杂程序的实践活动,在工程活动的全过程中,有一些工程是带有通用性的特点,对这些工程,需要单独进行分类:

从过程分类分为

1. 创意工程

包括知识整合工程、创造工程等。

2. 设计工程

包括目标整合工程等。

3. 施工管理工程

包括工业工程、价值工程等。

4. 运行工程

包括评估系统、可靠性工程、维护工程等。

5.4.1.3 按元工程分类

这些工程还有更高级的科学和工程基础,最典型的是系统科学与系统工程。它们已形成巨大的学科群,有些称为科学,也有些人称为工程。下面我们把带有程序性、目标价值较强的分支称为工程。

1. 系统工程;

2. 决策工程;

3. 控制工程;

4. (广义)过程工程。

5.4.2 一般(广义)工程的逻辑分类

按照工程关涉对象来分类,可分为四个系统:

1. 关涉自然界的工程,通常工程的概念大都属于这个范畴

它与人与自然的关系密切相关。自从人类出现以来,人对自然的态度随时代和地域文化不同而有很大的差异。大体上包括敬畏自然、利用自然、控制自然、改造自然、主宰自然、顺应自然、到与自然和谐相处以及优化自然等等,它们也反映在各个时期、各种文化的大小工程项目当中,近年来甚至有的达到破坏自然,毁灭自然的程度。有关的工程最明显的方面是从自然界索取物质资源和能量资源。这类

工程例包括掘工程、矿业工程、石油工程等。除此之外,人类还进行一系列自然改造工程,例如围海造陆、河道改造、各种农田水利工程以及盐碱地改造、沙漠绿化等工程。自然控制工程在本书第 14 章有十分详尽的论述。

2. 关涉人的工程

所有工程都直接或间接涉及人,但这里所谈的主要是对个人自身生存与发展有关的部分。对于自然人,首要的问题是其生存及健康维护问题。最典型的为医学工程或健康工程,其次为防残助残工程。残疾人在世界上占有相当的比例,在国内占有 5% 以上,使他们能像正常人生活及工作是一项重要的社会事业。现存的改善残疾人状态方式是人机结合的方式,即采用机械代用品,现在逐步过渡到电子代用品,可能的话,应转为生物代用品及自然人自我更新的方式,这些工程都依赖于科学技术的发展及大规模资金的投入。以上只是人的工程的消极方面。

积极方面的工程包括芯片植入、基因改造、部分克隆技术等使得人的体能有所提高,其中包括人对恶劣环境耐受性的短时或长时段的改善。

人的心理及智能改善是关于人的工程的最高目标,以信息工程为例,人的处理信息的自然能力与海量的并且越来越多的信息构成越来越突出的矛盾,芯片植入技术也许会对智能有所改进。但其中还存在主要问题:一是接口问题,如何把芯片上的电子信息转变为人脑的神经系统的信息;二是人脑由此产生机械化,而使自然脑的功能退化。

最主要的问题是人的体能、智能的提升由于大部人心理及道德素质的低下,造成社会的新的矛盾与冲突。价值问题仍然会带来一系列文化问题。从技术上看,电子的、化学的、生物的方法肯定会很快进步,而且“天才”和“白痴天才”的存在也说明人脑大有潜力可挖。只是人们的伦理道德长期滞后更需要社会工程来改善。

3. 关涉社会的工程

社会工程涉及人与人的关系以及社会制度及文化。从历史上看,首先是原始文化规范人们的行为,其后逐步出现国家、法律及制度。后者在一定程度上具有一定的刚性,在这个意义下的确相当于工程。我们把工程分为社会的和文化的方面。前者包括经济工程、政治工程、法律工程等,后者包括语言工程,传统文化、保护工程、历史工程等。

4. 关涉波普尔第三世界的工程,主要由人创造的知识 and 价值的工程

其中包括科学、哲学、艺术、技术等。本书提出的学习工程、思维工程、虚拟工程等也可以归入这组。

最后,一般工程分类方案,可分为 8 大类

(1) 自然工程。分为自然利用工程、自然改造工程、自然控制工程、自然优化工程。

(2) 人工实物工程。分为过程工程(它包括材料工程,又包括化学工程)、建造工程等。

(3)生物工程。分为遗传工程、细胞工程、组织工程、人工生命、生态工程等。

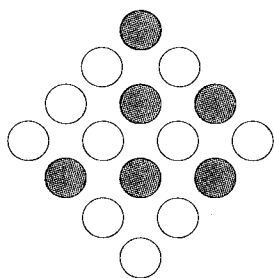
(4)人类身心工程。分为医疗工程或健康工程、人机工程、修复与置换工程、能力改善工程等。

(5)社会工程。分为经济制度工程(金融工程)、政治制度工程、法律工程等。

(6)文化工程。分为语言工程、传统文化工程、历史工程等。

(7)一般知识工程。分为科学工程、哲学工程等。

(8)一般价值工程。这现在还没有正式提出,主要涉及全人类价值重整,价值重估,价值建设等方面的工程。



中篇 分 论

李伯聪

6. 自然工程系统

在日常用语中,工程^①是一个经常使用的词汇,人们对它并不陌生;在日常生活中,工程活动是许多人都实际参与其中或受其影响的社会活动,人们对它有许多实际的亲身感受。

在最近几十年——特别是最近一二十年中,人们会感觉到对于工程一词的使用在范围上愈来愈广泛了,在使用频率上愈来愈常见了。可是,在学术领域,对工程的系统研究却很少见。为了深入、具体地揭示工程现象的本质和特征,我们不但需要对其进行一般性的研究——这就是我们在“上篇”中试图进行的工作,而且需要对其进行“分类”的研究——这就是本书“中篇”的任务了。

什么是工程呢?在日常话语和学术话语中,许多人不但会说到和讨论古埃及的金字塔工程、中国的都江堰工程、现代的曼哈顿工程、阿波罗工程、三峡工程、三门峡工程、宝钢工程、西气东输工程、南水北调工程等等,而且常常会说到和讨论希望工程、再就业工程、三峡移民工程等等。在现代社会中,工程活动的类型是多种多样的,本书“中篇”将分别对自然工程系统、社会工程系统、思维工程系统、学习工

^① 汉语的工程一词,翻译成英语可以是 engineering 或 project。

程系统、复杂工程系统和虚拟工程系统这几种最重要和最常见的工程系统进行一些简要的分析和论述。本节的讨论对象是自然工程系统。

6.1 自然工程系统的性质

6.1.1 自然、工程与社会

在人类的多种类型的工程活动中,自然工程系统是居于基础地位的一种工程活动。恩格斯的《在马克思墓前的讲话》是一篇非常重要的文献,恩格斯在这篇讲话中说:“正像达尔文发现有机界的发展规律一样,马克思了解人类历史的发展规律,即历来为繁茂芜杂的意识形态所掩盖着的一个简单事实:人们首先必须吃、喝、住、穿,然后才能从事政治、科学、艺术、宗教等等”^①。虽然从历史的角度看,原始人也曾经“茹毛饮血”——即直接“吃”自然界中“天然”的动物或植物——和“居住”在“天然”的洞穴中,但人类早就“超越”了这个阶段。自传说中的“燧人氏”、“有巢氏”时代起,人类就必须吃熟食和“盖房”居住了,后来人类又先后进入了农业时代、工业时代、信息时代,人类从事的工程活动的类型愈来愈多,规模愈来愈大。但无论如何,人类的生存在必须“首先”解决吃、喝、住、穿问题这一点上是没有发生改变而且不可能发生改变的,而自然工程系统就是人类为解决自己的吃、喝、住、穿、用等生活和发展问题而直接或间接以自然界为“对象”所从事的工程活动。

在以上对自然工程范围的“解释”中,我们不但使用了“直接”这个修饰语而且使用了“间接”这个修饰语,这就是说,根据我们的理解,自然工程的范围不但包括了食品工程、纺织工程、通讯工程、交通工程等“直接”为人类生活服务的工程,而且还包括了冶金工程、矿山工程、机械工程等“间接”为人类生活服务的工程。

应该强调指出的是,虽然自然工程系统直接地是以“自然”为对象的活动,并且人类在自然工程活动中必须遵循自然规律而不能违背自然规律,但我们必须特别注意:在自然工程活动中不但鲜明体现了人与自然的关系,而且它还深刻体现着特定的人与人的关系和人与社会的关系;如果仅仅注意了自然工程系统中人与自然关系的方面而忽视了自然工程系统中人与人的关系和人与社会关系的方面,那就必然要错误丛生了。我们必须时刻牢记:自然工程活动绝不是单纯的科学活动或技术活动,它是包括了多种要素的、以价值为导向和以价值为灵魂的复杂的系统性活动。我们应该而且必须在“自然—工程—社会”的三元关系中认识和把握工程。

6.1.2 自然工程与人的本性

在认识自然工程活动的性质时,最重要、最关键的问题是如何认识自然工程和

^① 《马克思恩格斯选集》第3卷,人民出版社,1972年,第594页。

人的本性之间的关系。

我们知道,许多民族的先民在很早的年代就提出了关于人的“来源”和人的“本性”的问题。

在古希腊的历史上,这个问题成为了著名的“斯芬克司之谜”。

“斯芬克司之谜”就是以神话形式提出的关于人的本性之谜。哲学产生后,这个问题又转化成为了一个“哲学问题”。

人的本性是什么呢?或者说,人的本性何在呢?

我们知道,对于人的起源和人的本性,古希腊有一个意味深长的神话,赫西奥德和埃斯库罗斯都谈到了这个神话,柏拉图在《普罗塔哥拉篇》^①和《蒂迈欧篇》^②中也谈到了这个神话。这个神话说,在神创造各种生物的时候,他们让普罗米修斯和爱比米修斯为各种生物进行装备,赋予其特有的性质,而爱比米修斯又建议由他来管特性的分配,由普罗米修斯负责检查,普罗米修斯同意了。爱比米修斯就进行了分配,他给有些生物分配了强大的体力而不给予其敏捷,他把敏捷给予了另一些生物,对于有些小躯体的生物,他给它们安装上了翅膀,如此等等,总而言之,他采取了取长补短的方法,以免某种生物生存不下去而遭到灭亡。可是,由于爱比米修斯不够聪明,他竟把全部的特性都分配给了各种生物,当他走到人的面前时,已经“无技可施”了。这时普罗米修斯来进行检查了,普罗米修斯看到各种动物都已经装备妥当,只有人还是赤身露体,然而,轮到人从地下出世的规定的时刻已经来到了,普罗米修斯就偷了赫斐斯特和雅典娜的制造技术,同时又偷了火(没有火是不能取得和使用这些技术的),送给人,于是,人就这样“出现”了。

这是古希腊的一个关于人的起源和人的本性的神话。在这个神话中,既有对于人的本性的天才猜测,同时也难免有一些幼稚的认识。

在这个神话中,人在“起源”时是“带着”制造技术和用火的能力来到世界上的。由于这个神话明确指出:火是使用技术的条件,而神是工具的创造者,所以,我们可以认为:这个神话提出了一个“天才”而“深刻”的猜测:人的本性就是人可以使用工具进行生产劳动。

随着历史的发展,人们往往会对以往的神话进行新的解读。法国学者贝尔纳·斯蒂格勒认为,上面那个神话的寓意是告诉我们:“人类是双重过失——遗忘(引者按:爱比米修斯的遗忘)和盗窃(引者按:普罗米修斯的盗窃)——的产物。”值得注意的是,与“双重过失”说相联系,斯蒂格勒还提出了一个“双重遗忘”说:“爱比米修斯并非单单是一个遗忘者……他同时也是一个被遗忘者。他被形而上学、被思想所遗忘。”^③

哲学史家指出:神话阶段是哲学诞生的史前阶段,希腊神话是产生希腊哲学的

① 《柏拉图全集》第1卷,人民出版社,2003年。

② 《柏拉图全集》第3卷,人民出版社,2003年。

③ 斯蒂格勒:《技术与时间——爱比米修斯的过失》,译林出版社,2000年,第221、218页。

温床。亚里士多德认为哲学起源于闲暇。在奴隶社会中,“闲暇的”、脱离生产劳动的哲学家在思考哲学问题时“很自然地”“抛弃”了、“遗忘”了这个关于“人是使用工具的动物”的“猜测”。

哲学诞生之后,哲学家没有忘记人的本性之“谜”这个问题,哲学家写了许多关于人性问题的著作。虽然哲学家没有“遗忘”“人性”这个问题,可是,古代和近代的哲学家在思考人性问题时只注意了人的“伦理本性”、“理性本性”、“政治本性”等方面的问题,却几乎没有人理睬“人的劳动本性”和“人的工程本性”的问题,哲学家们“遗忘”了工程主题和人的本性与工具的关系的问题。

在柏拉图之后的大约两千年的时间中,哲学家们虽然在其他许多哲学问题上都是众说纷纭,但在坚持认为人是理性的动物这一点上却是没有太大分歧的。

当代著名哲学家普特南曾谈到一种虚构的“缸中之脑”——假设的被人从人身上切下来并放在一个“盛有维持脑存活的营养液的大缸”中的大脑,他说:“哲学家们经常讨论这样一种科学虚构的可能性”。^① 实际上,也有文学家对这样的虚构感兴趣,例如,早在普特南写作他的那本书二十年前就有一位保加利亚的小说家写了一本科学幻想小说《鲍维尔教授的头颅》,小说中的鲍维尔教授就“成为”了一个“缸中之脑”。

我们可以把“缸中之脑”看作是“理性人”观点的一个直观模型,同样地,我们也可以把“持具人(制造和使用工具的人)”看作是“工作人”或“工程人”观点的一个直观模型。从哲学史的角度看,在这两种观点中,前一种观点备受哲学家的垂青,主张、坚持、发挥这个观点的哲学家数不胜数,在哲学史上占据了明显的优势。而马克思主义哲学则提出了完全不同的另外一种观点和认识。马克思和恩格斯指出,把人和动物区别开来的第一个历史行动“并不是在于他们有思想,而是在于他们开始生产自己所必需的生活资料。”“在社会中进行生产的个人,——因而,这些个人的一定的社会性物质的生产,当然是出发点。”^②在《1844年经济学哲学手稿》中,马克思更直接和更明确地指出:“工业的历史和工业的已经产生的对象性的存在,是一本打开了的关于人的本质力量的书”。^③ 这就是说,人的本性和人的本质是从工程活动和产业发展的过程中得以表现和展开的,离开了工程活动和产业的发展,我们就不可能真正认识和把握人的本性和人的本质。令人遗憾的是,在马克思讲了这些话之后,仍然很少有哲学家去认真地分析和研读“工业的历史和工业的已经产生的对象性的存在”这本“书”的“本文”,在哲学界,“这本书”被“搁置”在了一个“被遗忘”的角落中。

在认识人和工程的关系时我们看到:一方面,工程活动是人类社会存在和发展的物质基础,另一方面,人的本性也在工程中得以表现和展开。

① 普特南,《理性、真理与历史》,辽宁教育出版社,第7页。

② 《马克思恩格斯选集》第1卷,人民出版社,1972年,第24页。

③ 《马克思恩格斯全集》第42卷,第127页。

6.2 自然工程系统的发展

既然人的本性就表现和体现在工程活动之中,于是,工程——特别是自然工程——的发展史就成为了人类社会发 展进程的一个基本内容。工程是直接的生产力,而生产力正是人类社会发展的基础和基本内容。由于自然工程与人类的经济活动和经济发展有着密不可分的联系,以下我们就根据人类经济发展的四个阶段——原始工程时期、农业经济时期、工业经济时期和“知业(知识产业)”经济时期——对工程的发展历程进行一些简要的回顾和分析。

6.2.1 原始工程时期

从人类起源到旧石器时期是人类历史的初期阶段。在这个时期,“人类开始收集和砸制石头,用于特殊的目的,这也成为后来工程的一个持续的特征”^①。也是在这个时期,原始人开始了建造“房屋”——后代“土木工程”的前身——的活动。原始人不但建造了最初的房屋,而且随着技术的进步、原始人“群体”规模的扩大和“社会组织程度”的提高,他们还建造起了具有一定规模的“村落”。我们把这个时期的工程称为“原始工程”,这是人类工程活动发展的初期阶段。

6.2.2 农业经济时期的工程

应该顺便指出:在所谓“自然工程”中,不但包括着手工业和工业类型的活动,而且包括着农业、畜牧业、林业等方面的活动。

在人类的历史发展中,农业的形成和发展具有非常重大的意义和非常深远的影响,有人甚至把它称为人类文明史上出现的“第一次浪潮”。

大约 1 万年前人类开始使用新石器,从而进入新石器时代。在这个时期,人们开始饲养家畜,由于原始农业与畜牧的发展,原始人由逐水草而居变为定居式的生活。

古希腊神话中,普罗米修斯“盗火”的传说是许多人都知道的,这个神话流传千古,给后人留下了从思想、文化、艺术、哲学、历史等不同角度进行多种解释的空间。

在技术史上,火的使用是一件划时代的大事。现代技术史专家都高度评价了“用火”的历史作用。如果说在旧石器时期及以前的时期中,人类“用火”的主要方式和“火”的主要功用还是用于烧熟食物和抵御野兽的侵害,那么,在新石器时期,人类“用火”的划时代成就就是用火来“制陶器”了。我们可以把“制陶”这个新的技术和工程类型的出现当作人类“自然工程史”上新的一页。

继“制陶”工程之后,自然工程发展的另一个重大进展是出现了“原始冶金工

^① A. A. Harms, etc. *Engineering in time*, London, Imperial College Press, 2004, p. 209.

程”。人类先是进入了“青铜时代”，后来又进入了意义更深远的“铁器时代”。铁的普遍使用将人类的工程活动提高到了一个新的水平，因为铁制工具比青铜工具更为便宜有效，这使得大规模砍伐森林、沼泽的排水以及耕作水平的提高都成为可能。^①恩格斯在《家庭、私有制和国家的起源》中所说：“铁使更大面积的农田耕作，开垦广阔的森林地区，成为可能；它给手工业工人提供了一种其坚固和锐利非石头或当时所知道的其他金属所能抵挡的工具。”^②大量的铁制工具为大规模的、艰巨的施工提供了重要的手段，这就使大型水利工程的出现有了可能。

这个时期在建筑工程和水利工程等许多方面都取得了至今仍然令人赞叹的成就。例如，古代亚述及巴比伦之金字形神塔（顶上有神殿）（公元前 3500），埃及的金字塔（公元前 2500）和方尖碑（约公元前 2133—前 1786），英格兰的索尔斯堡大平原上的巨石阵（前 2700），罗马的大竞技场等等。这些工程不但反映和表现了当时社会的技术水平和经济水平而且反映出了当时的管理水平和文化精神。

在古代社会时期，中国兴建和兴修了许多大型建筑工程和水利工程。始建于公元前 200 年的万里长城是世界历史上伟大工程之一；公元前 227 年建成的都江堰作为中国最古老的水利工程，今天仍在发挥灌溉效益，堪称世界水利史上的奇迹；秦代的阿房宫、汉代的未央宫虽然已经毁于战火，但它们都曾经是我国古代工程建设非凡成就的表现和“历史记录”。

以上谈到的都是两三千年来甚至五六千年前的工程成就，由于本节在此所进行的工程历史分期是一个粗线条的历史分期，所以，从“历史区间”来说，所谓“中世纪”也是属于我们在此所说的这个“农业经济时期”的。由于对于东方和西方在“中世纪”的工程成就——包括农业领域的成就——许多人都是比较熟悉的，这里就不再多举实例了。

6.2.3 工业经济时期的工程

在人类历史上，近代工业的形成和发展是划时代的大事。正如马克思和恩格斯在《共产党宣言》中所说的那样：“资产阶级在它的不到一百年的阶级统治中所创造的生产力，比过去一切世代创造的全部生产力还要多，还要大。自然力的征服，机器的采用，化学在工业和农业中的应用，轮船的行驶，铁路的通行，电报的使用，整个大陆的开垦，河川的通航，仿佛用法术从地下呼唤出来的大量人口，——过去哪一个世纪能够料想到有这样的生产力潜伏在社会劳动里呢？”^③

我们可以把文艺复兴时期（约 1400—约 1800）看作是近代工程时期的早期阶

① 查尔斯·辛格等主编：《技术史》第 I 卷，上海科技教育出版社 2004 年版，第 397 页。

② 《马克思恩格斯全集》第 21 卷，人民出版社 1965 年版，第 186 页。

③ 《马克思恩格斯选集》第 2 卷，人民出版社，1972 年，第 256 页。

段^①。在这个时期,“工程实践变得日益系统化”^②,例如弗罗伦萨圆顶大教堂(Florence dome)的建造就运用了一些现代工程的管理和控制方法,像项目的设计和计划、财力和劳动力、管理、活动与物质的供应、预期、特殊案例的开发、工具和技术,还有顾问咨询和监督委员会的组建。为了远洋航行的需要,造船工程得到了发展。这个时代由于商业、手工业和交通运输的发达而导致了城市的繁荣。作为工程活动范围和规模的扩大的一个重要“动力”同时又是一个重要“结果”,“在文艺复兴时期,工程师成为新的更加通用的动力源的建造者和使用者。”^③在寻求这种动力的过程中,终于导向了蒸汽机的发明和使用。蒸汽机的使用和工厂制度的出现使人类的工程活动真正进入了一个新的阶段。

蒸汽机成为工程和社会乃至整个世界重要变化的催化剂,就工程的视角来说,它促进了多种类型工程的新发展:

一、机械工程。继蒸汽机之后,人类又发明了水轮机、内燃机和汽轮机,在20世纪又发明了燃气轮机。动力机的出现标志着人类进入了机器时代。以机器为代表的机械工程的出现,使大机器取代了手工工具和简单机械,用蒸汽机和内燃机取代了人和牲畜的肌肉动力,用大型的集中的工厂生产系统取代了分散的手工业作坊。

二、采矿工程。由于采用了机器抽水,使煤井和其他矿井可以加深,采矿规模大大扩大了。

三、纺织工程。虽然从历史先后顺序来看,纺织机的改进先于瓦特对蒸汽机的改进,但蒸汽机的引入无疑地又使整个纺织工业发生了革命性的变化,“纺织业”也从古代的手工业方式发展成为了近代的“纺织工程”方式。

四、交通工程。蒸汽机用于交通运输后,出现了蒸汽机车、铁道、蒸汽轮船等,后来又出现了汽车和汽车工业,于是,社会的交通事业便进入了一个新阶段。

虽然近代科学的开端早于近代发生的第一次产业革命,但我们仍然需要承认:以蒸汽机为代表的第一次产业革命还不是一次建立在近代科学基础之上的产业革命。

科学和产业关系的革命性变化发生在第二次产业革命——电力和电气革命——时期。如果没有电学的领先发展,人类是不可能在19世纪末20世纪初完成第二次产业革命(或称第二次技术革命)从而迎来“电气化世纪”的。

进入20世纪后,工程的领域还向空中扩展,出现了飞机制造和空中运输业。随着炼钢技术从转炉到平炉再到电炉的演进,以冶金工程为代表的“重工业”也得到了进一步的发展。

从19世纪到20世纪中叶,工程活动的种类和规模都急速膨胀,有人甚至把这

① 英文的“modern”既可翻译为“近代”也可翻译为“现代”。

② A. A. Harms, etc. *Engineering in time*, London, Imperial College Press, 2004, p. 81.

③ A. A. Harms, etc. *Engineering in time*, London, Imperial College Press, 2004, p. 90.

个时期称之为“指数增长的工程时代”。福特制和泰罗制的出现,零部件生产标准化和流水作业线的结合,生产效率的空前提高,工程管理的“(管理)科学化”,这些都标志着工程史发展到了一个史无前例的新时期和新阶段。

6.2.4 知业经济时期的工程(20 世纪中叶一)

从 20 世纪中叶起,人类社会逐渐进入了“后工业(post-industrial)时代”。对于应该怎样认识和把握这个“后工业时代”(有人翻译为“工业化后的时代”)^①的性质和特征,学者们进行了许多分析和研究,提出了许多有价值的观点。有人认为,与农业经济时代和工业经济时代相比,当前正在进行的这场产业革命和社会革命中最突出的特点是出现了“科学研究业”,简称“科业”,“现在人类进行的这场革命是‘科业革命’”^②。依照这种观点和看法,人类社会正在进入“科业经济”——或者说“知业经济”——的新时代。

由于在所谓“后工业时代”或“知业经济时代”,工程活动和产业发展出现了许多新特征和新趋势,我们认为有必要把这个时期界定为一个工程发展历史上的一个新时期。目前,这个时期还正处在继续发展的进程之中。

在这个时期,出现了许多“新种类”的工程,例如,核工程、航天工程、生物工程、微电子工程、软件工程、新材料工程等等。有学者指出:在这个时期,“工程的理论和实践发生了重要变化,工程日益卷入到科学关注的焦点,尤其去适应社会的需要和期待。”^③由于现代工程系统日益复杂,并且在工程与自然的关系上人类愈来愈重视生态的保护和资源的保护,工程正在成为“全球适应的进化系统”,“传统的工程建立在物质的、几何的和经济的考虑之基础上,而当代的工程则还要牵涉到心理学的、社会学的、意识形态的以及哲学的和人类学的考虑”,于是工程变得“同更宽广的世界相联系”^④,而体现于其中最根本的特征也是整个当代社会的工程特征:信息化、人性化、生态化。

工程发展史是一个极其复杂的过程,于是,人们也就有可能和有必要从不同的角度、根据不同的“标准”对其进行分析和考察。当人们从不同的角度、根据不同的“标准”对其进行分析和考察时,其结论和历史分期就有可能出现某些歧异之处,这是很“自然”甚至有一定必然性的。例如,当我们在主要考察工程的工具技术手段而研究“工程技术史”时,工程的技术发展史就有可能被划分为四个阶段:手工工程时代、机械工程时代、自动工程时代、智能工程时代。如果我们主要考察工程的对象的演进,我们就会看到另外一个“深化”和“演进”的过程:工程对象从宏观物体(石器和土木工程)深入到微观世界,在微观世界中从分子(无机工业工程)深入到

① 贝尔:《后工业社会的来临》,商务印书馆,1984 年。

② 刘吉、金吾伦等:《千年警醒》,社会科学文献出版社,1998 年,第 417 页。

③ A. A. Harms, etc. *Engineering in time*, London, Imperial College Press, 2004, p. 141.

④ A. A. Harms, etc. *Engineering in time*, London, Imperial College Press, 2004, pp. 141, 171.

原子(有机工业工程),再从原子深入到原子核(核工程)和电子(电子工程),在这个过程中,造物的“精度”也不断提高,从尺、寸、厘米时代(古代造物)进入到毫米时代(工业造物),再进入到微米时代(电子工程中的造物^①),目前还正在向“纳米时代”(纳米技术及其用原子直接造物)推进。以上四大工程类型的演进其实也是工程造物精度的演进过程:^②

工程类型(出现的时间)	现象学基础(发现)	工程器物(发明)	尺度(米)
土木工程(~3000 年以前)	静力学(稳定的物质)	结构器物	尺度(10^{-3} — 10^{-2})
机械工程(18 世纪中叶)	动力学(对象的运动)	机械器物	尺度(10^{-5} — 10^{-3})
化学工程(19 世纪初)	物质变化(分子变换)	过程器物	尺度(10^{-8} — 10^{-5})
电子工程(19 世纪中)	电荷传输(电子运动)	电—磁器物	尺度(10^{-9} — 10^{-7})

如果我们考察“工程材料史”,那么,由于材料本身就是工程的一个重要领域,于是,这就成为了对“材料工程史”的研究。在这个“领域”中,已经有许多学者对石器(工程)时代、青铜(工程)时代、钢铁(工程)时代、高分子(工程)时代的许多问题进行了研究,而在信息时代的工程活动中,由于“硅”成为了一种主要材料,也许我们可以再“补充”一个“硅器时代”。

在工程史的研究中,“工程动力进步史”无疑地是一个非常重要的方面。在工程活动中,动力问题的重要性是毋庸置疑的。人类最初是使用自己的“体力”作为“动力”的,后来又使用了“畜力”、“水力”和“风力”作为“动力”的来源。在第一次产业革命中,蒸汽机的出现标志着人类在工程活动的动力方面有了突破性、革命性的进展。这个进展不但具有技术和生产力方面的意义,而且具有深刻的社会影响和社会意义,我们知道,马克思曾经说过如下的一段话:“手推磨产生的是封建主的社会,蒸汽磨产生的是工业资本家的社会。”^③

由于工程所涉及的空间范围不断扩大,这就出现了“工程空间扩展史”,在这个方面我们看到了一个“地面工程—地下工程—海洋工程—航空航天工程”的“演进”过程。

由于自然工程不但体现了人与自然的关系,而且体现着人与人的关系和人与社会的关系,于是,“工程社会史”的研究也成为了整个“工程史”的一个极其重要的方面。在工程发展的历史进程中,工程在社会组织程度上也是不断变化的,随着工程规模的扩大和合作性需要的增强,我们看到了“个体工程—简单协作工程—系统工程—大系统与超大系统工程”这样几个阶段;从工程的社会驱动上,我们看到了从维持生存的驱动扩展到财富增值的驱动、从物质驱动到精神驱动(宗教性、装饰性)的发展过程,尤其是,对工程的社会驱动因素和力量日益多元和复杂,政治因素、经济因素、精神因素、军事因素、宗教因素、文化因素等各种因素错综交织,工程

① 这里不是指直接用电子来造物,而是指使用微电子技术芯片上制造集成电路。

② A. A. Harms, etc. *Engineering in time*, London, Imperial College Press, 2004, p. 215, 217.

③ 《马克思恩格斯选集》第1卷,人民出版社,1995年,第142页。

社会影响和社会作用日益复杂和强大,人们愈来愈深刻地认识到:工程不但可能产生积极的社会效果,同时往往也不可避免地导致某些负面效果,出现了生态环境问题、贫富问题、文化问题(工程中的文化冲突、文化多样性、文化趋同与文化交融)等。^①

与科学史相比,工程史的“头绪”更加纷繁多样,内容更加丰富多彩,可是,就学术研究的实际状况和水平来看,目前的实际情况却是:科学史早已成为了一个“成熟”的学科,而对于工程史的研究却只能说仅仅有了一个非常初步的开端。我们至多可以说工程史这个学科是一个处于“襁褓”中的学科。因此,本节以上对工程史的叙述就不但是极其简单、挂一漏万的,而且不当和疏漏之处更是难以避免的,我们希望能够通过今后的研究对这个缺陷有所弥补。

6.3 自然工程系统的要素

马克思说:“人体解剖对于猴体解剖是一把钥匙。低等动物身上表露的高等动物的征兆,反而只有在高等动物本身已被认识之后才能理解。”^②同样地,在研究自然工程系统时,我们也应该把“现代自然工程系统”当作理解历史上一切时代的“自然工程系统”的“钥匙”。

我们以下就以“现代自然工程系统”为“典型”,对自然工程系统的构成要素进行一些简要的分析。

6.3.1 工程价值

如果单独地看,“自然”和“工程”是两个完全不同的名词或术语。“自然”过程是一个因果性的过程,“自然过程”本身是没有目的的;而“工程活动”却是目的性的活动,任何工程都是在一定目的的引导下进行的活动。

虽然从“字面”上看,“自然工程”这个术语是“自然”和“工程”的“结合”,但“自然工程”的基本含义却绝不是“二者”的“简单结合”。对于“自然工程”这个概念来说,它的基本含义是指称一类以“自然”为对象的“工程”。从“语法”分析的角度看,“自然”是起修饰、限制作用的“成分”,“自然工程”的本质和基本属性落在了“工程”上。从本质上看,“自然工程”是人类所进行的改变自然进程的活动。

人们不会无缘无故地从事一项工程。人们之所以兴建、从事一项工程活动,其目的都是为了实现、达到一定的价值目标。这个价值目标的具体内容,有可能“主要”是某种经济目标(例如兴建一座钢铁厂),但也可能“主要”是其他类型的价值目标,例如政治价值目标(例如建设一座“皇宫”)、宗教价值目标(例如兴建一座教

^① 本文以上对工程史的分析,参考和引用了肖峰为《工程哲学》(殷瑞钰等著,高等教育出版社,2007年)一书所写的文稿中的部分内容。

^② 《马克思恩格斯选集》第2卷,人民出版社,1972年,第108页。

堂)、文化价值目标(例如兴建一座“大剧院”)等等。实际上,由于许多具体的价值目标常常是互相联系、互相渗透的,所以,一般来说,工程的价值目标不大可能是单纯的或单一目标的,往往是多目标或综合价值目标的。

在工程活动中,价值因素不但发挥“引导”作用,而且这个目标还在工程的实施过程中发挥着“渗透性”和“灵魂性”的作用。

应该强调指出的是,在确定工程活动的价值目标时,人们绝不能以“单纯经济观点”作为确定工程目标的“指导思想”。在确定自然工程项目的价值目标时,我们必须正确处理经济价值和其他价值(特别是生态价值)的相互关系、眼前利益和长期价值的关系,坚决“制止”那些单纯追求经济利益但却严重污染环境、破坏生态平衡的工程,“取消”那些以为官员“涂脂抹粉”为目标但却无益于群众的“政绩工程”。

价值目标是工程活动的“灵魂”,在工程活动中,正确确定工程活动的目标是最重要和最关键的环节。

6.3.2 工程技术

在工程活动中,技术因素是一个绝对不可缺少的因素。任何忽视和轻视技术在工程活动中的重要作用和地位的观点和认识都是不正确的。对于技术在工程活动中的重要性,我们甚至可以概括成这样一句话——“没有无技术的工程”,因为任何工程活动都需要有一定的技术手段和技术条件作为前提和基础,如果缺少了必要的技术前提和技术条件,不但必然造成工程的失败,在许多情况下,工程甚至完全不可能“设想”,工程甚至连“第一步”也迈不出去。

技术的具体类型或具体“形态”是多种多样的^①。在此我们只注意区分“研发形态”的技术和“工程形态”的技术:前者指“诞生”在“研发机构”中的技术,它可能在“以后”应用在“具体的工程活动”中,但也可能仅仅“停留”在“研发机构”中而“未能”“走到”“具体的工程活动”之“中”;而后者则是仅仅指那些“已经具体应用在工程活动”之“中”的技术。由此来看,并不是“所有的”技术都是“工程技术”。虽然非工程“形态”的技术有时也可能对工程活动发挥某种形式的作用,但我们应该承认:在工程活动中真正发挥重要作用的技术仍然只是“工程技术”。一般地说,“新研发”出来的技术需要经过一个“工程化”的过程,转化成为“工程技术”之后才能在工程中发挥作用。

对于工程和技术相互关系,我们不但必须看到“没有无技术的工程”这个方面,同时,我们还必须看到“没有纯技术的工程”和“工程选择技术”这个方面。

一般地说,在实现某个工程目标时,往往存在着不止一条技术路线,存在着不止一种技术手段。那么,究竟应该在一个具体工程项目中采取哪个技术路线和具体采取哪种技术手段呢?这就往往不单纯是一个“技术问题”,而是一个需要根据

^① 李伯聪:“技术三态论”,《自然辩证法通讯》1994年第4期。

“经济条件”、“管理条件”、“环境条件”和其他“社会条件”来考量和决定的事情了。在许多情况下,对于一项具体的工程来说,最“合适”、最“恰当”的技术往往并不是“技术水平”最高的那种技术。著名经济学家舒马赫提出了“中间技术”的思想^①,我们不拟在此全面评价舒马赫的这个观点,我们只想指出:对于许多在发展中国家兴建的工程项目来说,盲目采用“最先进”的技术往往不是一个明智和恰当的决策,而其原因正是由在具体的工程活动中,“工程”必然对于“技术”有所“选择”。决策者应该根据“工程本身”的特定条件和要求来选择最“恰当”的——而往往不是“最先进”的——“工程技术”。

6.3.3 工程管理

由于工程活动是群体性、集体性活动,参与工程活动的各个成员不能任意地自行其是,为所欲为,管理也就成为了工程活动中必不可少的关键要素。管理学在20世纪有了突飞猛进的发展,现代工程实践在管理领域有许多深刻的经验教训。由于本书第12章还要对管理问题进行专题分析和论述,我们在此就不再多讲工程管理的重要性了。

我们在此仅想强调两点关于工程管理的认识问题。一是在工程活动中,管理不但要起“指挥”作用,而且它还要发挥把工程的各个“要素”“黏合”在一起的作用。从这个方面看,管理不但在工程活动中起“发号施令”的作用,而且它还起着“粘合剂”的作用。虽然管理的“发号施令”作用和“粘合剂”作用是密切联系的,而不是互不相干的,但我们还是应该承认这是“两种”不完全相同的“作用”。二是虽然我们已经有理由说:管理的“发号施令”作用主要是“纵向”的作用,“粘合剂”的作用主要是“横向”的作用;但我们还需要指出管理还有另外一种“纵向”的结构:高层管理、中层管理和基层管理。而在高层管理中,又有高层技术管理、高层营销管理等等。我们知道,管理学的开创者中,美国的泰罗和法国的法约尔是两个最重要的人物。从理论和实践的角度看,泰罗所涉及的主要是基层管理方面,而法约尔涉及的主要是高层管理方面。

6.3.4 工程科学

古代(成功的)工程虽然也“符合”现代科学的原理,但“古人”并不是在科学理论指导下进行工程活动的,我们可以把“古代工程”定性为以“经验”为基础的工程。

虽然我们不赞成把技术“简单地”说成是科学的应用,我们也不赞成把工程“简单地”说成是技术的应用,可是,这并不妨碍我们赞成“现代工程是以科学为基础的工程”这样一个一般性的判断。如果没有电学理论发挥“先导”和“基础”作用,现代电力工程是不可能出现的。所以,我们把科学也看作是自然工程的重要组成要素之一。

^① 舒马赫:《小的是美好的》,商务印书馆,1984年。

在这里,我们想强调的是:虽然“基础科学”也可以被看作是工程活动的“基础”,但在更直接的意义上,我们这里所说的作为工程活动基础的科学,其所指乃是“工程科学”(或曰“工程技术科学”)。

1957年,钱学森发表了《论技术科学》一文^①,后来,当钱令希问钱学森中文的“技术科学”应该如何翻译为英文时,钱学森说可以翻译为“engineering science”^②,而“engineering science”对应的中文又是“工程科学”。由此来看,在钱学森心目中,“技术科学”和“工程科学”这两个术语是没有什么区别的。

在《论技术科学》一文中,钱学森说:“为了不断改进生产方法,我们需要自然科学、技术科学和工程技术三个部门同时并进,相互影响,相互提携,决不能有一面偏废。我们也必须承认这三个领域的分野不是很明晰的,它们之间有交错的地方。”钱学森的这个看法是非常深刻、具有远见卓识的。如果说钱学森的这个观点在20世纪还没有产生特别重大的影响,那么,我们相信,这个观点在21世纪就要产生愈来愈大的影响了。

6.4 自然工程系统的过程

我们可以粗略地把工程活动的过程划分为三个阶段:计划决策阶段、实施建构阶段和使用解构阶段。

6.4.1 计划决策和设计阶段

工程活动是怎样开始的呢?

工程活动过程和认识过程不同。根据我国流行的哲学教科书的观点,认识过程是一个“从实践开始”的“实践——认识——实践”的过程;可是工程活动却不是“从实践开始”而是“从‘思想’开始”的过程。

工程过程和自然过程的一个根本区别就是:自然过程是“因果性”过程而工程活动是“目的性”过程。在自然过程的“因果性”关系中,“原因”在前而“结果”在后,可是在工程活动的“目的性”过程中“目的”和“结果”的关系却是“目的(目标)”在先,而“结果”在后。所以,在工程活动中,设定目的是具有起始性作用和意义的。如果没有预先确定的目的(虽然这个“目的”在整个工程活动的过程中有可能发生某些改变,甚至是重大的改变),任何工程活动都是不可能投入“实施”的。

在工程活动“实际进行”之前,有关人员不但必须确定工程的目的,而且必须“预先”确定工程的具体方法和具体“路径”,我们可以把这个确定目标、制订计划、作出决策、进行设计等工作的“阶段”称为“计划和设计阶段”或“计划决策”阶段。

对于许多小型工程来说,这个阶段的“工作量”不大,所需要的时间也不长,特

① 钱学森:“论技术科学”,《科学通报》1957年第4期。

② 钱令希:“钱学森与计算力学”,刘则渊、王续琨主编:《工程·技术·哲学》,大连理工大学出版社,2002年。

别是在古代时期,很可能只有一个“心中”的“设计方案”而并不存在一个“成文的”“设计方案”。可是,对于许多大工程来说,这个阶段的任务就很“艰巨”了。由于“计划决策”和“方案设计”中的错误必然导致“工程实施”中出现错误——甚至是灾难性的错误,现代工程活动的这个进行计划、决策、设计的阶段本身也成为了一个“程序严格”的“复杂”过程了。在现代社会环境和条件下,一般地说,如果没有“拿到”“全套”的“设计图纸”,“管理者”是不会“下令”“开工”的。

6.4.2 实施和运行阶段

虽然我们必须承认计划设计阶段的重要性,可是,在一定意义上,我们应该更加关注、更加重视工程的实施阶段,因为工程活动的本质是“实践”而不是“思维”。由于确实存在着许多仅仅停留在计划阶段而没有进行实施的“工程”,而这些在“计划阶段”就“夭折”了的“工程”在严格意义上又不能被称为“工程”,所以,我们又有理由说:“实施”才是工程的“真正”“开端”——正像我们应该承认“真正”的“战争”是从打响“第一枪”才“开始”一样。

工程的实施过程是通过一系列的“操作”(或曰“作业”)而完成的。对于自然工程活动来说,特别是较大规模的自然工程活动来说,其基本“操作”是利用机器设备完成的。在实际的工程实施过程中,由于多种原因,操作环节中出现错误(“误操作”)的情况往往是难以完全避免的。所以,工程实施过程中需要建立一个“监控”和“质量保证”“体系”的重要性就突出出来了。

要想建设一个“优秀的工程”,搞出一个“优秀的设计方案”自然是一个重要的、决定性的环节,可是,无论多么好的设计方案,都必须通过优秀的“施工”过程才能变成“工程的现实”。在现实生活中,虽然有了“优秀的设计方案”,但由于在实施过程出现重大问题,最终仍然造成出现“豆腐渣工程”的情况也是屡有所见的。

对于“生产性”工程任务——例如“宝钢工程”和“青藏铁路建设工程”——来说,在“建设性”工程“完成”之后,就要进入“运行”阶段了。工程“施工”“质量”究竟如何,那是必须通过“运行”阶段的检验才能作出“真正结论”的。“真正”的验收不是在“验收签字”那个时刻完成的,而是在日后“长期运行”的检验中,才能作出最后结论的。

6.4.3 “使用”和“终结”阶段

对于“基本建设工程”——例如建设一座电站——来说,发电设备的“运行”指的就是发电设备的“使用”。可是,对于那些以大量制造消费品——例如汽车或电视机——为目的的“制造活动”来说,我们就有必要把消费者对消费品的“使用”单独列为另外一个阶段了。

在对经济活动的分类中,发电设备建成后的“使用”即“运行”是属于“生产活动”的“范围”的,可是,这个“消费品”的“使用”阶段就不再属于“生产活动”,而是属

于“消费活动”了。

马克思在《政治经济学批判导言》^①中,曾经深刻地分析了生产和消费的辩证关系。马克思明确指出,消费是生产的目的,生产活动是在消费过程中才得以最后实现和完成的。由此来看,在“计划经济时期”——无论是苏联和东欧的“计划经济时期”还是中国的“计划经济时期”——经常出现的“为生产而生产”的现象实在是一种“畸形”和“异化”的经济现象。

工程活动是以价值为“灵魂”的活动,如果我们把计划设计阶段看作是“价值设计”阶段,把“实施”阶段看作是“价值生产”阶段,那么,消费阶段就是“价值实现”阶段了。

应该指出,当人们使用“消费”这个概念时,其“价值实现”的基本含义常常是指“经济价值”的实现。由于本书所说的价值并不单单指“经济价值”,所以,我们在这里谈“价值实现”的实现时,其完整含义也就不单是指“经济价值”的实现,而且还包括了“其他方面的价值”的“实现”。考虑到这些“非经济价值”的方面,我们不把这个价值实现的阶段称为“消费”阶段而称为“使用”阶段。

在历史和时间的长河中,任何具体的器物、设备、过程都不可能是“永恒”的而是既有“开端”又有“终结”的。

在研究工程活动时,我们不但应该研究工程活动的“开始”和“中间阶段”而且应该研究工程活动的“结束”或“终结”,正确处理由于工程活动的“结束”或“终结”而造成的“问题”。

在以往的研究“视野”中,工程的“终结”问题常常没有受到应有的重视,而这种“忽视”又不可避免地带来和导致产生了许多社会问题和社会弊端。例如,目前我国的一些“老煤矿”已经进入“资源枯竭”期,“煤矿”已经进入它的“终结期”了,由于人们“预先”没有对此“准备”“对策”,这就产生了一系列的经济和社会问题。我们由此而得到的一个启示就是,我们必须把“工程的终结”当作一个“单独”的“问题”进行研究才对。实际上,目前人们在设计“核电站”时,“法律”已经要求在“设计”阶段就“预先”“安排”好“核废料”的“处理”问题了。

6.5 自然工程系统的价值

由于价值问题是工程活动的灵魂,并且价值问题又非常复杂,不可等闲视之,我们有必要在本节最后对有关自然工程系统的价值分析问题进行一些更具体的讨论。

6.5.1 自然工程系统的经济和社会价值

在“自然工程”中,大部分自然工程主要是属于“经济范围”或基本上是“经济类

^① 《马克思恩格斯选集》第2卷,人民出版社,1972年。

型”的工程。即使那些其基本性质不属于“经济类型”的自然工程——例如兴建一座教堂或寺院,其“建设工程”也是要花费一定的资金才能兴建的。从这个方面来看,这些工程都是具有一定的经济价值的工程。

在认识和分析自然工程系统的经济价值时,我们不但要对其经济价值进行评估,而且要注意,这些工程不但具有经济意义,同时它们还具有许多超越经济价值的更广泛的社会价值和意义。

从根本上看,自然工程系统塑造了现代社会的基本物质面貌,是现代社会存在和发展的基础——这才是自然工程系统的最根本的社会价值和意义。

在现代社会中,当人们环顾周围的生活场景时,人们看到:我们居住的房屋、工作的厂房、办公大楼、娱乐的大型剧场和健身的运动馆,我们使用的电视机、电冰箱、移动电话手机、计算机等等,我们外出乘坐的汽车、火车、飞机、轮船,我们穿的化纤服装等等都是现代工程活动的产品。离开了现代工程活动,人类简直就不能生存下去,现代社会简直就无法维持下去,更不要说有什么进一步的发展了。在工程活动中,不但体现了人与自然的关系,同时还建立和体现了一定的人与人和社会的关系,因而,自然工程建设活动的好坏和成败也就不但具有经济意义,同时还具有深刻的社会意义。自然工程建设的状况如何,绝不仅仅是一件具有经济意义的事情,它同时更是一件影响到社会是否有了进步和社会是否和谐的大事。

6.5.2 自然工程系统的精神和文化价值

虽然从直接层面来看,自然工程建设是物质领域的建设工作或工程,但我们在认识和评价自然工程的价值时,必须注意自然工程系统同时还具有重要的精神和文化价值。

这里我们暂且不谈剧院建设、图书馆建设、印刷厂建设、体育场建设、体育设施建设、娱乐设施建设等等所具有的文化作用和价值,我们想在此强调的是:即使那些直接具有——甚至主要具有——生产属性的工程建设项目,常常也是具有重要的精神和文化价值的。例如,中国的万里长城最初主要是作为一项“军事工程”来兴建的,可是,现在又有谁能否认它已经成为了中华文化和中华精神的一个重要象征了呢?再看西方文化,当我们通过“帕特农神庙”认识希腊文化时,通过“悉尼歌剧院”来认识澳大利亚的时候,人们也是在直观地认识自然工程所体现的精神价值和文化价值。

6.5.3 自然工程系统价值影响和价值评价中的副作用问题

以上我们在谈到自然工程的价值时,主要谈的是“正面价值”,可是这绝不意味着我们认为自然工程的价值都是“正面”的。相反,我们想强调指出:任何工程都是不可能只有正面价值而不存在某些“负面价值”的,在某些情况下,一些工程的价值甚至可能基本上是负面的,在特殊情况下,其后果甚至是灾难性的。

所谓自然工程的副作用不但是指它可能造成污染,影响自然环境,影响生态平衡,而且是指它可能造成负面的“社会效果”——例如严重事故可能影响社会的和谐、工程活动中“行贿”“贪污”事件频发严重败坏社会风气等等。

在近代史上,许多人曾经对人类从事自然工程活动的作用和效果抱有过分乐观主义的态度,而忽视或轻视了自然工程所可能产生的负面价值或负面效果。由于在工业化过程中,自然工程副作用愈来愈明显和愈来愈严重,同时也由于人们对这个问题的认识也在不断深入,我们可以说,目前在舆论层面和理论层面“一般性地承认”自然工程系统会产生副作用已经不是一个“问题”了。可是,“一般性地承认”自然工程系统的副作用并不“等于”在现实生活中“已经”真正消除和解决自然工程的副作用。实际上,由于在现实生活中要真正消除和解决自然工程的副作用往往会直接影响到一些人的经济利益,所以,要真正消除和解决自然工程的副作用往往是要遇到阻力的事情,要想在现实生活中充分发挥自然工程的正面作用、减少和尽量消除自然工程的副作用往往是相当困难的事情。可是,无论有多少困难和阻力,我们也不能无所作为,更不能气馁,我们应该努力前进,尽量强化和扩大自然工程系统的正面价值,努力尽量减少和化解自然工程系统的副作用。

7. 社会工程系统

作为工程系统一个子系统的社会工程系统,可以区分为政治工程、经济工程和社团工程三个子系统。如果把社会工程系统比喻为人体,那么政治组织中的政府好比大脑和中枢神经系统,经济组织中的企业好比心脏和血液循环系统,社团组织中的会社好比淋巴器官和免疫系统,它们彼此独立而相互协调地运转着。

7.1 政治工程系统

作为社会工程系统的一个重要子系统的政治工程系统,整个文化系统中最重要的制度载体,包括作为主体的国家中央政府的组织形式以及中央政府与地方政府之间的关系和国家之间的关系。政治工程系统的演进历史,主要表现为农业文明时代君主专制到工业文明时代的共和民主制的转变,当今世界正兴起一种新的民主形式——协商民主。中国的君主专制、美国的共和民主和联合国的协商制,是政治工程系统演化进过程中的三大典型工程。

7.1.1 中国的君主专制

君主制是农业文明时代最普遍的政权组织形式,作为国家最高统治者的君主(皇帝或国王等名号)拥有无限的权力,并且是终身的和世袭的,依靠庞大的军队和官僚机构维护其专制统治。君主制为奴隶制、封建制和中央集权制等专制政体国家普遍采用。迄今,仍有少数国家以君主立宪形式保留着君主制国体。君主制在中国的发展大体经历了夏、商两代奴隶制时期(前 21 世纪—前 11 世纪)、西周和东周列国的封建时期(前 11 世纪—前 221)以及秦至清的中央集权时期(前 221—1912),最终在外来压力的冲击下通过暴力革命实现了从君主专制到共和民主的转变。中央集权的君主专制始于秦朝,巩固于两汉时期,完善于隋唐时期,经宋元时期的进一步加强,在明清时期达到其顶峰而走向衰亡。秦朝以相辅制和郡县制把专制主义的决策方式和中央集权的政治制度有机地结合,西汉通过推恩附益、行刺史制和独尊儒术加强了中央对地方的直接统治,隋唐时期的三省六部制和科举选官制度以分权加强君权,宋朝的强干弱枝改革和元朝的行省制分别加强了中央政府的权力和对边疆地区的直接管。明朝废宰相设厂卫和清朝设军机处、行文字狱把君主专制推向极端。中国君主专制的特征在于中央集权,它是通过宰相制、郡县制和科举制实现的。

郡县制是把分散的权力集中的极为有效的行政手段。郡和县作为古代行政区划的名称始周朝,从“千里百县,县有四郡”(《逸周书作雒》)和“上大夫受县,下大夫受郡”(《左传》),我们大体知道那时县郡的规模。春秋时期已有一些诸侯国置县、郡并任命不得世袭的官员去管理,战国逐渐为各强国采用以减少分封贵族的地区。秦始皇并六国而统一天下时,不少大臣和各地贵族享有世袭的封号。秦始皇接受宰相李斯关于实行郡、县制的建议,通过直接任免、监察和考核郡、县官员把权力集中到中央。秦置三十六郡(《史记》),郡又辖若干县,郡(守)和县(令)由皇帝直接任命。郡县制取代分封制实现从地方分权向中央集权的转变,为而后两千多年地方行政体制奠定了基础。这种中央直接委派地方官的制度为历代承袭,通过增设和调整地方行政建制加强中央集权。汉代一郡约统 20 县(一县方百里),县下置乡、亭、里。汉末在郡上增州,隋罢郡而以州统县。这种自上而下的树状权力体系,治理并维系着君主的专制统治。

宰相制是君主专制体制下治权与政权相对分离的一种治国机制,它根源于家天下。长子的继承制难以选择明君。辅佐国君处理政务的“宰”和“相”早就存在,在春秋时期成为正式官职,战国时期为各诸侯国普遍设立,秦始皇统一天下确立了“掌丞天子,助理万机”的宰相制度,遂成为后世沿袭相承的定制。秦朝以降的两千多年中,宰相长期是国家治理中枢的核心,但几经演变而使相权日益削弱。汉初宰相的权力膨胀到“一人之下,万人之上”,几乎达到能制衡君权的地步。西汉武帝以“内朝”牵制外朝,西汉末年又一相变三公(太尉、司徒和司空)。两晋隋唐废三公而代之以三省(尚书、中书、门下)六部(吏、户、礼、兵、刑、工),尚书省执行机构,中书省是决策机构,门下省是审议机构。宋朝分宰相为正(中书、门下的长官)副(参知政事),一相四参或二相二参相互掣肘。从元朝开始宰相制度进入衰亡期,金朝罢中书和门下两省而以尚书省总揽政务,元朝先后行一省多相制、两省多相制和中书省取代尚书省。明代废除宰相代之以内阁大学士,清代又以军机处取代内阁。在相权从属于君权的前提下,君权和相权并立而相互制约。宰相制本为维护君主的权力而设,但君主的私家天下必定与贵族官僚地主的利益不完全一致。虽然支撑君主专制的儒学意识形态支持明君贤相的合作,但在中国君主专制的政治史中始终存在君主与宰相的冲突。

科举制从两个方面维护君主专制,一是科举考官提供了一种上升性的社会流动机制,二是科举考试提供了一种儒学意识形态化的有效途径。通过分科考试选拔官吏的科举制度,自由报考、固定时间、公开考试、不论出身、不讲资历、不限年龄、公平竞争、择优录取,为社会上升性的流动提供了一种制度保障。平民可以通过考试进入官僚阶层,也意味着平民参与国家治理机会,并有可能在某种程度上使公共政策反映一些平民利益。这种制度为王室与政府分离和民众与政府接近创造了一定的条件,有利于社会的稳定发展并从而有利专制政权的巩固。科举考试以儒家经典为标准答案,导致对儒学的了解成为人们改变社会地位的惟一途径,从而

实了现专制君主权力对意识形态的控制。儒家对于社会秩序的解释被确立为正统的信仰系统,把社会成员吸引到某个个人对儒家政治理想和社会道德之解释的理解,从而为君主专制统治提供了一种意识形态基础,但同时也就窒息了人们对真理和自由的追求。

7.1.2 美国的共和民主

共和民主取代君主专制是人类政治史上的一个里程碑。天下为公的“共和”是人类古老的理想,中国西周时期曾有召公和周公的“共和”执政(公元前841年)接替厉王暴政(《史记·周本记》)。现代共和民主可以溯源到古希腊的民主理论与实践,经文艺复兴时期的古典共和主义发展为自由共和主义,其代表作是英国洛克(John Locke, 1632—1704)的《政府论》(1683)、法国孟德斯鸠(Charles de Secondat, Baron de Montesquieu, 1689—1755)的《论法的精神》(1748)和美国联邦党人的杰作《美利坚合众国宪法》(1787)。这部美国宪法参考了英国立宪民主的《大宪章》(1215)和《权力法案》(1689),并充分体现了洛克的“自然权利”和“社会契约”思想以及孟德斯鸠的三权分立原则。但它并非只是欧洲先进制度和思想的简单移植和继承,而是依据美国人民自己的历史经验,针对自己所面临的各种政治问题,通过思考和比较后的一种选择和创新。它避免专制的中央集权的弊害,补救了邦联制度的失败,告别了欧洲那种各国混战的局面,为建设和平而稳定的政治环境创造了条件。

美国的前身是英国在美洲的殖民地。自哥伦布到达新大陆以降,欧洲殖民者纷纷来到美洲。从1607年第一批英国人在维尼吉亚州的詹姆斯敦登陆,在半个世纪内在北美洲就建立了13块殖民地。伦敦对北美洲这些殖民地统治,因路途遥远而只是理论上的,殖民者得以自治和自行立法。康涅狄格根本法(1639)、马萨诸塞自由法(1641)、宾夕法尼亚大法(1682)宾夕法尼亚权利法案(1701)成为美国宪法和权利法案的先例。因为对英国议会制定《糖税法》(1764)、《印花税法》(1765)、《茶税法》(1773)等举措不满,大陆级别的北美殖民地会议连续召开。第一次(1774)大陆会议决定上书请愿,由于英国认为这是叛乱而导致第二次大陆会议(1775)宣告建立军队,第三次大陆会议通过《北美十三国联合一致的共同宣言》和联邦条例(1776)并宣告建立一个政治实体和寻求外国援助(1776)。接着各州迅速地制定了自己的宪法,在1781年各州都批准了联邦条例后,十三个殖民地建立了一个邦联议会并将联邦条例修改为《美利坚合众国宪法》(1787),从而诞生了美国联邦政府(1789)。

美国宪法序言称:“我们,美利坚合众国的人民,为了组织一个更完善的联邦,树立正义,保障国内的安宁,建立共同的国防,增进全民福利和确保我们自己及我们后代能安享自由带来的幸福,乃为美利坚合众国制定和确立这部宪法。”为保障每个人的权利、自由和人格,它确立了五项基本原则:人民主权(政府由人民控制)、

限权政府(政府的行为受法律限制)、共和政体(决定政策的代表由人民选举)、联邦系统(保障州级政府的权利)和权力制衡(立法、司法和行政三权分立)。作为规定政府性质、职能及其权限的根本性法律或原则的这部宪法,虽然没有预料到尔后很多新事物的出现,如政党、内阁、媒体辩论、电子选举系统等等,但它创建的国会、行政和司法部门的灵活性使得政府可以不断适应新的情况。这部宪法不仅为美国的政治制度奠定了基石,使之后来居上而一跃而成为世界强国,而且在近二三百年来还深刻地影响了世界上许多国家的政治发展和宪政实践。

美国宪法开辟了人类历史的新纪元,使共和政体取代君主专制成为潮流。美国立宪是公众参与政治过程成功的结果,公民就国家存在之目的、政府权力的来源、政府组织和运作程序、公民权利等一系列问题进行讨论,讨论的结果变成条理清晰法律。美国宪法的制定过程是人类民主政治生活一次伟大的实践,依靠思考和选择参与政治,以自由建议、公开讨论和公民认同实现人民主权。“人民主权”这样的抽象概念通过一部宪法转换成为现实的政治手段,政府的合法性得以真正确立。但美国宪法也绝非尽善尽美,作为宪法政治设计基础的人权,包括生命权、自由权和追求幸福的权利,如何理解和呵护它路并没有走完,还需要我们付出更多的心力。

7.1.3 联合国的协商制

协商民主(Deliberative Democracy)是20世纪后半期兴起的一种民主理论,其实践是当代世界政治工程发展的一个新方向。它作为政府组织形式(国家以及国家联合体)、政治决策过程和一种治理形式,在承认文化多样性和价值多元化的基础上,强调利益相关者通过对话、讨论和辩论形成共识。协商民主理论认为,政府与公民的协商是达到民主决策的必要环节,是政治民主最基本的要素之一,也是任何其他方式所不可取代的。协商民主的核心思想是强调基于理性的公共协商,从而赋予立法和决策以合法性。协商民主的关键特征是多样性、合法性、程序性、公开性、平等性、参与性、责任和理性,作为协商民主主体的协商参与者包括作为公共权威机构的政府、区域性政府组织、普通公民和不同文化背景的族群等。虽然协商民主理论主要关注的是国内政治生活,但联合国的建立和发展却可以看作是协商民主政治的最好的实践。

联合国的成立(1945)和完善是一项全球性的巨大政治工程。它的历史可以追溯到19世纪中叶一些国际组织的建立,专业性国际电报联盟(1865)和万国邮政联盟(1874)的成立。1899年,在荷兰海牙召开的第一次国际和平会议,一次旨在制订和平解决危机和防止战争的文件及编撰战争规则的会议,通过了《和平解决国际争端公约》并依据该公约成立了常设仲裁法院。第一次世界大战结束后的1920年1月10日,根据《凡尔赛和约》国际联盟(1922—1946)诞生于瑞士日内瓦,其宗旨是“促进国际合作和实现世界和平及安全”。由于其未能防止第二次世界大战爆发

而名存实亡,代之而起的是战争期间成立的联合国。1942年1月1日,26个国家联合发表《联合国宣言》,承诺其政府将继续共同对轴心国作战。1944年的8月至10月,中国、苏联、英国和美国四国代表聚会美国顿巴顿的橡树园,探讨并提出成立联合国的提案及其章程草案。1945年的4月25日至6月26日,50个国家的代表聚会美国旧金山讨论并通过了《联合国宪章》,经中国、法国、苏联、联合王国和美国以及大多数其他签字国批准后,联合国组织于1945年10月24日正式成立。

联合国的宗旨是维护国际和平与安全,发展国际间以尊重各国人民平等权利及自决原则为基础的友好关系,进行国际合作以解决国际间经济、社会、文化和人道主义性质的问题,并且促进对于全体人类的人权和基本自由的尊重。联合国设有大会、安全理事会、经济及社会理事会、托管理事会、国际法院和秘书处6个主要机构。联合国大会由全体会员国组成,每年举行一届常会。新一届常会每年9月开幕,通常持续到12月中下旬。大会可在会议期间决定暂时休会,并可在以后复会,但必须在下届常会开幕前闭幕。根据《宪章》规定,大会有权讨论《宪章》范围内的任何问题或事项,并向会员国和安理会提出建议。联合国的最高行政首长是秘书长,由联合国大会选举产生,任期五年。秘书长既是外交官和活动家也是调节人和带动人,在世界社会面前就是联合国的象征。

安全理事会是联合国最重要的机构,在维护国际和平及安全方面负有主要责任。安全理事会由中、法、俄、英、美5个常任理事国和10个非常任理事国组成,每一成员国均只有一票权。安全理事会主席一职由安全理事会理事国按照理事国国名英文字母次序轮流担任(任期一个月),10个非常任理事国由联合国大会按地区分配原则选举产生(任期两年,不可连任)。关于程序问题的决定以十五个理事国中至少九个理事国的可决票通过,而关于实质性问题的决定也需九票通过,其中包括五个常任理事国的同意票。这就是所谓的“大国一致”规则,通常称为“否决”权。安全理事会有权根据《宪章》规定各会员国必须执行的决议,而联合国其他机构只是向各国政府提出建议。安全理事会秘书处由秘书长和联合国工作人员组成,其职责是为联合国及其所属机构服务,并负责执行这些机构所制定的方案和政策。

几十年来,联合国历经国际风云变幻,在曲折的道路上成长壮大,为人类的和平与繁荣做出了重要贡献。它在实现全球非殖民化、维护世界和平和安全、促进社会 and 经济发展等方面取得了令人瞩目的成就。截止到2006年6月,联合国的会员国由创建时的51个增加到192个,已成为当代由主权国家组成的最具普遍性和权威性的政府间国际组织。据联合国公布的材料,1948年以来,安理会共授权进行了60余项维和行动。另外,联合国还先后组织制定了从不扩散核武器到和平利用外层空间等数百个国际条约。联合国日益重大及其作用的日益重要性表明,协商民主在处理国际政治问题上卓有成效,其经验无疑也可以为处理国内政治问题和发展协商民主制度提供借鉴。

7.2 经济工程系统

作为社会工程系统一个子系统的经济工程,整个文化系统中最重要的技术(物质)载体,包括生产、交换和分配等基本经济活动所形成的结构。经济工程系统演化的历史,经历了农业文明时代的资源经济主导和工业文明时代的资本经济主导两个形态,当今世界已开始从资本经济主导向知识经济主导过渡。依赖土地资源的中国地主经济、积累原始资本的贩奴贸易和基于知识的创意产业,是经济工程系统演化过程中的三大典型工程。

7.2.1 中国的地主经济

农业文明时代的生产方式由土地所有制的性质所决定,土地所有制形式和经营方式决定人们在生产中的相互关系,以及劳动产品的交换和分配关系。土地是财富的载体和社会地位的象征。土地作为最重要经济的资源,被视为一切财富的原始源泉,拥有土地就拥有财富和社会地位。在整个农业文明的发展史上,土地所有权有一个从公有到私有的转变。在这个问题上中国与欧洲不同,欧洲的土地私有化(14世纪)导致的是资本经济制度,而中国的土地私有化(公元前2世纪)带来的却是长达两千多年的地主经济制度。在中国古代原始社会,土地是氏族和部落共有的。在奴隶制和分封制时期土地为国王所有,王室重要成员和战功贵族因封赐而拥有部分土地,但只可以世袭而不可以买卖。随着分封制的衰落而日益走向土地自由买卖的道路,形成了一种人皆可以为地主的激励机制,越来越多地把购买土地看作特别可靠的投资。但土地私有制和地主经济的产生和确立,经历了一个长期的发展过程。

中国的地主经济,地主占有土地并采取出租或雇工经营的经济制度,大体与中央集权的君主制的发展同步。以秦国商鞅变法(前361)和秦始皇统一天下(前221年)为契机,通过废井田、开阡陌,土地得以买卖,经济制度逐渐变为地主经济。地主经济的基本结构是,主要生产者是没有土地或有少量地的农民,主要经营者是拥有土地的地主,主要运营机制是租佃制。地主依其政治身份不同可区分官僚贵族地主和庶民地主,前者作为地主中的权力阶层(依靠非经济权势获得土地和支配劳动),后者为地主中的非权力阶层(完全靠经济手段获得土地和支配劳动)。而农民可以区分为佃客、佃农、雇工和自耕农,对地主的依附程度不同。

从两千多年的地主经济历史总体上看,庶民地主阶层是地主经济的主体。西汉时期是庶民地主的形成期,可区分为田畜地主、商人地主和豪民地主三种经济成分。田畜地主主要来自过去的平民和小生产者,作为乡村中经营地主的他们,主要致力于农牧业经营。商人地主多来自六国贵族及其后裔,靠经营工商业积累的钱财购买土地并经营。豪民地主由大地主和大商人结合而成的豪强富民,是庶民地

主中的上层。在东汉和两晋南北朝时期,官僚贵族凭借权势攫取土地,自耕农和庶民地主纷纷破产,官僚地主经济成为主导经济成分。北魏和唐朝的均田制,抑制官僚地主的土地兼并和放宽了土地私有化发展的空间,导致唐宋元三朝庶民地主经济得以恢复和发展,明清两朝是庶民地主经济成分高度发达的时期。

地主经济的主要经营方式是租佃制,它的产生和发展决定着地主经济的形成和壮大。租佃制大约起源于秦朝,西汉时期仍然处于初级阶段。两晋南北朝时期租佃制大兴,但那是士家大族(官僚贵族地主)强权役使人身依附的佃客和部曲的租佃制。唐朝以降庶民地主经济日益发展,租佃制转变为以实物地租役使佃农的租佃制主导,包括分成地租和定额地租等不同形式。作为土地财产营运的主体地主家庭,从事土地买卖和租佃,向政府交纳赋税和向佃户收取地租,垦辟和改良所有权的土地,兼营工商业和高利贷等。作为使用土地劳动经营主体的农民家庭,将使用权、经营术和劳动者结合成一个整体,为其经济利益而以强烈的责任感关注生产的全过程。这种以家庭为生产和生活单位,把农业和手工业结合在一起,以满足自家基本生活需要和交纳租税而生产的小农经济,是一种自给自足的自然经济。在中国地主制经济下,从奴隶劳动到租佃自营生产、从严格依附的佃客制到契约关系的佃农制、从分成租佃制到定额租佃制,每一步都有利于提高地主和农民双方的积极性,并从而一步一步地解放了生产力。地主经济的这种租佃制度的综合作用,能容纳铁制手工工具生产力水平的高度发展,能容纳以个体生产为主体的商品经济的高度发展,并从而保持了自己在社会经济中的主体地位和主导作用。

7.2.2 贩奴贸易

贩奴贸易指欧洲殖民者贩卖非洲黑人到美洲大陆等地的反人道的人口贸易,从15世纪中叶到19世纪末长达四百多年之久,17世纪和18世纪是它的鼎盛期。除奥地利、波兰和俄国等少数国家外,几乎所有的欧洲国家和新兴的美国都先后参与了这一罪恶活动。对于欧洲人来说,美洲这个新大陆是他们巨额财富的新来源地,在他们榨干了美洲印第安人的血汗之后,又把目光转移到非洲黑人身上。他们把在非洲捕猎的青壮年黑人贩卖到美洲,为他们在美洲的种植园和矿山补充劳动力。奴隶贩子们还以《耶稣号》、《圣母玛利亚号》和《神的礼物号》等命名他们的贩奴船,不惜玷污上帝的神圣。经受了文艺复兴洗礼的欧洲人,竟无耻地以别人的生命和人格尊严为自己积累一枚枚硬币,把贩奴发展成为一个专门的贸易行业。这一特殊的历史现象深刻地暴露了资本原始积累的血腥,它成就了欧美资本主义的发展,却毁灭了一个文明——非洲原住民发展的文明。2006年,英国首相布莱尔为英国200年的贩奴罪恶道歉。英国青年工人安德鲁·霍金斯亲赴西非冈比亚,在一个民族典礼上跪地替他的祖先谢罪。因为他的祖先约翰·霍金斯在1562年把生活在西非塞拉利昂的黑人贩卖到西班牙。

作为一种特殊历史现象的贩奴贸易始1441年,葡萄牙人阿·贡萨尔维斯率领

一艘船沿非洲西海岸向南绕过布朗角后上岸,把 12 名黑人奴隶从那里带回到欧洲。1510 年,一批约 250 名的非洲黑人被带到西印度群岛的伊斯帕尼奥拉岛。贩卖黑奴的规模越来越大,到 1780 年代中叶,平均每年从非洲运出的黑奴约近 10 万名。贩奴贸易的发展经历了垄断、自由和走私三大阶段。15 世纪至 17 世纪为垄断贸易期,西班牙、葡萄牙及随后荷兰、英国、法国,以皇室特许公司形式垄断贩奴贸易。18 世纪为自由贸易期,随着工业资本冲破商业资本的垄断,贩奴贸易也进入自由贸易阶段。19 世纪为走私贸易期,由于废除奴隶贸易法案,贩奴被迫以走私形式进行。在四百多年的贩奴贸易史上,数以亿计的非洲黑人遭受了捕获、贩运和奴役的灾祸,其中直接从海路贩运的约 4600 万,运到美洲大陆的只有 1200 万左右,其余都死在海运的途中。

贩奴贸易为欧洲殖民者带来的巨额利润,成为资本原始积累的重要来源。贩奴是种一本万利的买卖,利润高达几十倍甚至上百倍。在 1730 年,一个非洲黑人只需四码白布就可以换到,而在牙买加的卖价则高达六十至一百英镑。在 18 世纪末,一艘装载三百多名黑奴的贩奴船,往返一趟就可获利一万九千多英镑。欧洲的殖民者在贩奴贸易中大发横财,尤其是最先垄断奴隶贸易的葡萄牙人,为葡萄牙、西班牙、荷兰、英国和法国等国的资本主义发展积累了充足的资金。欧洲和美洲的那些极度繁荣的城市,伦敦、阿姆斯特丹、马德里和纽约等,无不浸透着非洲黑奴的血泪。伟大的思想家马克思曾指出,非洲变成商业性猎获黑人的场所,是资本原始积累的主要因素之一,标志着资本主义生产时代的曙光。

贩奴贸易毁坏非洲原住民发展的文明。非洲本来也像其他大陆一样,曾经独立地发展出古代文明。尼罗河流域孕育的古埃及文明是世界最早几个古王国文明之一,撒哈拉大沙漠以南的广大地区形成的黑人文化风格独异。作为地中海古文明圈重要组成部分的古埃及文明,在公元 7 世纪以后的进展主要是由于与伊斯兰文化的冲突和融合而达成的。欧洲殖民者的入侵基本中断了非洲原住民循着历史逻辑发展的道路,他们把非洲变成商业性猎获黑人的场所。数以千万计的非洲黑人被贩卖,到美洲以及印度洋、亚洲由殖民者开办的种植园和矿井中工作,数以亿计的黑人在捕奴、掠奴战争及贩运途中死去。年轻力壮的劳动力被掠走,不仅正常的平静的生活被搅乱,生产力也遭到严重破坏,使非洲进入历史上最黑暗的时期。

贩奴贸易自然要遭到受害者们尽其可能的反抗,包括拒捕和聚众起义。在英国和美国贩奴船在 150 年间(1700—1845)发生过 55 次起义,在美洲殖民区发生过 250 多次起义。震惊世界的海地黑奴大起义(1790—1803)还建立了一个独立的海地共和国(1804 年),世界第一个由奴隶创建的国家。随着启蒙思想的传播和机械革命的扩展,18 世纪末的欧洲废奴运动兴起,英国首先出台禁止贩奴的《奴隶贸易法案》(1807 年),其他国家也相继宣布贩奴禁令。在 1880 年代,输入奴隶最多的古巴和巴西也宣布了禁止奴隶贸易和解放奴隶的法令。两次反对贩奴贸易的国际

会议,柏林会议(1885年)和布鲁塞尔会议(1890年),彻底结束了罪恶的贩奴贸易。

7.2.3 创意产业

创意产业(Creative Industry)作为经济学中的新概念在20世纪90年代确立,虽然它的实践早已存在并且有关它的研究也已有几十年的历史。英国创意产业特别工作组的成立(1998)标志着创意产业的兴起,英国人将创意产业界定为“源自个人创意、技巧及才华,通过知识产权的开发和运用,具有创造财富和就业潜力的行业”,并根据这个定义把广告、建筑、艺术和文物交易、工艺品、设计、时装设计、电影、互动休闲软件、音乐、表演艺术、出版、软件、电视广播等13个行业确认为创意产业。源自英国的创意产业概念迅速地影响了欧洲、美洲、亚洲等许多国家,英国、美国、韩国、丹麦、日本、德国、新加坡是创意产业的典范国家。当今世界创意产业的产出已达每天220亿美元,并以每年5%左右的速度递增,有人估计到2020年它的核心产业可达年产出8.9万亿美元。中国艺术家们也已有了些创意产业的实践,2005年组成一个代表团访问了英国伦敦,回来后就成立了“创意中国产业联盟”。

霍金斯(John Hawkins)是创意产业的积极倡导者,他从20世纪80年代起就研究创意产业,阐明了创意一系列特点及其经济意义。他的著作《创意经济》(The Creative Economy, 2001),使创意学成为经济学的一支。他也因此而成为国际公认的创意产业理论家,并被誉为“创意产业之父”。他的理论给他带来了英国创意集团主席、创意商学院主席和林肯大学创意产业客座教授等名衔,他多年积累的媒体运营经验也吸引着世界许多著名电视台等媒体。他强调创意源自于个人,创意源自于我们的大脑。因为大脑是跟随着我们的,创意可以在任何地方、任何时间进行,我们随时都可以使用这种个人的资源。创意不需要依靠土地、金融资本或者工厂和机器,只要你有想象力就能产生创意。他把知识产权看作创意经济中的“货币”,把推动建立知识产权制度者看作“货币”发行人。他强调,创意经济首先同文化艺术有关,但不能仅限于这些领域。

英国是创意产业发展最快的国家。自1997年5月成立创意产业特别工作小组以来的五年(1997—2001)间,在税收优惠等政策性措施的扶持下,创意产业以年增长率15%的平均速度发展。近10年来的创意产业增长了93%,而同期的英国整体经济增长为70%。创意产业已成为英国第二大产业(仅次于金融服务业),十多万家创意产业拥有员工190万,产值约占英国GDP的8%。创意产业成功推动了英国出口贸易,1997至2002年创意产业出口平均年增长率为11%,而在同期超过外贸和服务出口的平均年则分别为3%和7%。创意产业提供的就业机会,1997年至2003年平均年增长率为3%,而同期整个英国经济的就业平均年增长率只有1%。伦敦的创意产业居全国第一,其产出值约占全国创意产业总值的1/4。伦敦拥有全国创意产业的艺术基础设施的40%、全国广播电视产业员工的一半、全国电影从业人员的2/3和全国设计师的85%,集中了全国音乐商业活动90%和影视

业商业活动的 70%。伦敦的设计业产出和音乐业产出都占全国产出总值的一半,而其出版产业产出也占全国出版产业总产值的 36%。作为全球三个广告产业中心之一和全球三大最繁忙的电影制作中心之一的伦敦,它也是世界创意产业发展中心之一。

美国是创意产业最发达的国家。美国新经济的本质是知识经济,创意经济是知识经济的核心和重要表现。创意产业是当今美国最大的和最有活力并带来巨大经济收益的产业。美国创意产业从 1996 年开始就已经超过航空、重化工及汽车等传统产业而成为最大的出口产业,其中音乐制品占全球市场份额的 1/3,海外销售额达到 600 亿美元,电影收入占全球市场份额的 60%。据《美国经济中的版权产业:2004 年报告》提供的数据,1997 年至 2002 年,美国核心版权产业增速是 3.51%,超过同期美国 GDP2.4% 的年均增长率。2002 年,美国核心版权产业的增加值达到 6262 美元,占 GDP 的 5.98%,总体版权产业增加值为 12540 美元,约占到美国 GDP 的 11.97%。在就业方面,2002 年核心版权产业从业人员为 548.4 万人,占美国就业总人数的 4.02%。同年,全部版权产业雇佣了 1147.6 万人,占美国就业总人数的 8.41%。2002 年,美国核心版权产业中四个部分的海外销售和出口增长了 1.1%,达到了 892.6 亿美元。2005 年,美国的创意产业企业 57.8 万家(占全国企业总数的 4.4%),从业人员 290 万人(占全国就业人员总数的 2.2%)。美国创意投资在数量、规模、种类等方面均超过许多欧盟国家。

7.3 社团工程系统

作为社会工程系统子系统的社团工程系统,整个文化系统中最重要观念载体,包括分别由信仰、理性和价值主导的团体所形成的结构体系。社团工程系统的演化历史,经历了农业文明时代的信仰团体主导和工业文明时代的科学团体主导,当今正在走向知识文明时代的教育团体主导。超民族的信仰载体宗教、国际性的理性载体学会和价值多元化的大学,是社团工程系统演化工程中的三大典型工程。

7.3.1 宗教

主导农业文明时代社团系统的宗教团体,一般是由共同的信仰、道德规范、仪礼教化维持,并在发展中形成教派。从原始社会的自发宗教到现代社会的人为宗教,几千年的发展形成了三大教系。基于尼罗河和两河流域文明的教系,从古代希伯来宗教(公元前 20 世纪)到犹太教(公元前 16 世纪),犹太教衍生出基督教(公元 1 世纪),而犹太教和基督教的某种结合又诞生了伊斯兰教(7 世纪),伊斯兰教又分裂出巴哈伊教(公元 19 世纪)。基于印度河和恒河流域文化的教系,从古吠陀教(公元前 15 世纪)到婆罗门教(公元前 10 世纪),反婆罗门教的沙门思潮衍生出佛教(公元前 6 世纪)和耆那教(公元前 6 世纪),婆罗门教又复兴为印度教(公元 8 世

纪),印度教与伊斯兰教结合产生出锡克教(公元16世纪)。基于黄河和长江流域文明的教系,从商周时代的原始宗教到儒家和道家思想分别衍生出儒教(公元前2世纪)和道教(公元2世纪),对于有没有“儒教”一直是个争论的问题。宗教团体曾经深刻影响了人类的精神面貌,尽管随着科学技术的发展其作用领域日益减少,但世界各大宗教长期流传不绝和众多新宗教的不断涌现表明,宗教赖以生存的社会条件并未消失。20世纪末,各宗教团体依信徒人数排序为基督教(20亿)、伊斯兰教(11亿)、印度教(8.9亿)、佛教(3.5亿)、各种新兴宗教(2.05亿)。

基督教于公元1世纪中叶诞生在地中海沿岸的巴勒斯坦地区,其创始人是耶稣。它作为独立的宗教于136年从犹太教中分裂出来,192年成为罗马帝国的国教,1054年分裂为罗马公教(天主教)和希腊正教(东正教),16世纪中叶又从公教中分裂出新教(在中国称为耶稣教),基督教作为天主教、东正教和耶稣教三大教派的总称。基督教的经典《圣经》(包括《旧约全书》和《新约全书》),教义比较复杂且各教派强调的重点不同,但基本信仰还是为各教派所公认。基督教曾经几乎控制了中世纪的欧洲的思想,一度发展到教权与王平分秋色的程度,并因而为民主思想的发展提供了生存空间。天主教会以“主的旨意”发动的八次十字军东征(1095—1270)以失败告终,不仅建立世界教会的企图完全落空,侵略暴行暴露出来的丑恶面目使教廷威信扫地。作为应对新教改革而成立的天主教耶稣会(1540成立,1773解散,1814年又恢复),借助殖民活动推动了在欧洲以外地区的传教,在世界文化交流方面一度起了桥梁作用。

伊斯兰教于公元7世纪初诞生于阿拉伯半岛,它的创始人是麦加的穆罕默德(Muhanmmad,570—632)。他以“安拉是唯一的真神”为口号,提出禁止高利贷、施舍济贫、和平安宁等反映当时社会要求的主张。顺从安拉旨意的人叫“穆斯林”,穆斯林都相信穆罕默德是“先知”和“安拉的使者”,崇信经典是《古兰经》。从7世纪一个地跨亚非欧三大州的帝国建立起来,经8世纪中叶后分裂直到17世纪,在伊斯兰的名义下,以阿拉伯半岛为中心,曾经建立了伍麦叶王朝(661—750)、阿拔斯王朝(750—1258)、后魏玛王朝(756—1031)和法蒂玛王朝(909—1180),印度莫卧尔王朝(1526—1858)、土耳其奥斯曼帝国(1299—1922)等一系列大大小小的王朝帝国。随着时代变迁,这些盛极一时的王朝都已成为历史陈迹,而作为世界性宗教的“伊斯兰教”却始终没有陨落。逊尼派(多数派)、什叶派、哈瓦利吉派和穆尔吉埃派并称为早期伊斯兰的四大政治派别。当今,世界上有10亿多信徒,他们大多分布在阿拉伯国家,以及分布在中非、北非、中亚、西亚、东南亚和印度、巴基斯坦和中国等九十多个国家和地区,有些国家还以伊斯兰教为国教。

佛教于公元前6世纪中叶诞生在南亚次大陆的印度北部古迦毗罗卫国,其创始人是释迦牟尼(Bundha,约公元前565—486)。出身释迦(Sakya)家族,姓乔答摩(Gautama),名悉达多(Siddhartha),信徒尊称他为释迦牟尼(释迦的圣人),简称佛陀(觉者),所传宗教被称为佛教。作为反婆罗门的沙门思潮之一的佛教,是一种温

和理性的宗教,以众生平等反对种姓制度,其原始佛经为经、律、论组成的“三藏”。释迦牟尼逝世百年后,由于对戒律认识的不同而分裂为比较保守的上座部和比较开放的大众部,并在其后进一步分化出支脉“十八部”。在部派佛教的发展过程中,强调“普度众生”并标榜“大乘”(Mahayana)的佛教团体形成(公元1世纪),它同时把原始佛教和其余部派佛教的“自我解脱”主张贬称为“小乘”(Hinayana)。上座部(小乘)佛教南传而盛行于斯里兰卡和东南亚,大乘佛教北传入西亚和中国。8世纪以后的佛教主要在中国和日本以及东南亚各国发展,而在印度却日趋衰落直至19世纪才有所复兴。佛教在中国分汉传和藏传和南传三大支,汉传佛教在公元1世纪传入中国,藏传佛教在8世纪传入西藏,南传佛教在云南。从南北朝开始中国佛教进入兴盛发展阶段。现存佛教分为三大支:巴利语上部派佛教、汉语大乘佛教和藏语大乘佛教。

7.3.2 学会

主导工业文明时代社团系统的科学团体,是以英国伦敦皇家学会(1662)和法国巴黎科学院(1666)为楷模而发展起来的。在它们的影响下德国柏林科学院(1700)、俄罗斯彼得堡科学院(1725)和美国科学院(1863)等相继成立。在欧洲各地效仿英国和法国的同时,英、法两国各自沿着自己的模式继续发展,先是在法国出现建立地方科学院的热潮,稍后是在英国新兴工业城市地方学会的兴起。接踵而来的是伴随着学科分化和科学职业化的专业学会和全国科学联合会的兴起,植物学、地质学、天文学、化学、生物学、物理学和数学等专业学会纷纷成立,德国自然科学联合会(1822)、英国科学促进会(1831)、美国科学促进会(1848)、法国科学促进会(1870)等国家级科学联合会纷纷建立。20世纪上半叶基本上实现了科学团体的国际化,1919年法国科学院和美科学院与英国皇家学联合会成立了国际研究理事会(1931年改组成国际科学理事会,1998年改称国际科学理事会),1922年天文、数学、纯粹与应用化学、纯粹与应用物理、测地学与地球物理、无线电科学等国际联合会建立。法国和英国的地方学会、美国原子科学家联合会和国际科学理事会的活动,典型地表现了作为社团组织的科学团体的独立品格。

地方科学团体首先在法国和英国崛起。在法国,17世纪下半叶。已有苏瓦松、尼姆、昂热、阿勒斯、图尔兹和维尔弗兰瑟等地方科学院,到18世纪末两万以上人口的城市几乎都有了科学院。这些地方科学院既是科学研究机构又是科学普及机构,成为传播启蒙思想和科学知识的重要场所。在英国,18世纪下半叶在英格兰北部的兴起工业城市。薄明翰、曼彻斯特、黎芝、利物浦等建立了学会,到1870年发展到125个,其中最著名的是薄明翰的“月光社”(1765年)和曼彻斯特的“文哲会”(1781年)。月光社的发起者是第一台蒸汽机的制造商博耳顿(M. Bolton, 1728—1809),文哲会的会员中有科学史上著名的亨利(W. Henry, 1774—1836)、道尔顿(J. Dalton, 1766—1844)和焦耳(J. P. Joule, 1818—1889)。在英格兰之后,

在苏格兰和爱尔兰也兴起了这类学会。这些地方学会成为联系科学家、工程师和企业家的纽带。

美国原子科学家联合会(The Federation of Atomic Scientists)的成立源于科学家们对原子弹政治含义和科学家社会责任的觉醒。在美国的原子弹爆炸实验成功之后,芝加哥、洛斯阿拉莫斯和田纳西州奥克里奇等地的原子科学家们就开始思考,并组成小组讨论他们所做工作的社会的和政治的含义。当以原子弹袭击日本的广岛和长崎并获得对日作战胜利之时,作为军方代表指挥曼哈顿计划实施的格罗夫斯将军,精心策划了一个确保军方控制原子弹技术的法案,以海—约翰逊法案的名义于1945年10月4日向议会提出。美国科学界对此迅速做出了反映,几十位青年科学家聚集在华盛顿全力投入反对海—约翰逊法案的斗争。各地的讨论小组联合组成了一个全国性的组织——原子科学家联合会。在诺贝尔化学奖得主尤里(Harold Clayton Urey, 1893—1981)的领导下提出一个自己的修正案,其结果包含在民主党参议员麦克马洪于12月份提出的法案中。原子科学家联合会的成员一度增加到了几千人,他们怀着负罪心情寻找控制原子能的有效方法,以使他们的发明创造能够造福而不是毁灭人类。原子科学家联合会于1946年5月成立紧急委员会,著名物理学家爱因斯坦(Albert Einstein, 1879—1955)出任主席。紧急委员会的主要工作是筹集经费支持公众教育的各种刊物,以向普通老百姓说明原子弹所带来的各种新问题。虽然麦克马洪提案取代海—约翰提案于1946年7月由国会通过,但这一胜利很快因接踵而来的美国反共政治付诸东流。原子科学家联合会为争取制订合理的原子弹政策的努力失败了,紧急委员会于1949年11月停止了工作,遂原子科学家联合会演变成任务更为广泛的美国科学家联合会。

国际科学理事会(International Council for Science)的成立(1931年成立时名国际科学联合会理事会,1989年改称国际科学理事会,其前身是1919年成立的国际研究理事会),是科学团体国际化的最重要标志。科学家们在研究实践中逐步发展交流方式并扩大交流范围。从最初信函往来、期刊公开发表和互相访问交流,到组织专业学会和专门学术讨论会,直到成立把几乎所有科学家联合在一起的国际性组织——国际科学理事会。国际科学理事会旨在推动科学的国际交流,协调各个国际性科学协会及国家科学组织的活动,维护科学界的正当权益,倡导科学界的社会责任和职业道德,促进公众理解科学。国际科学理事会特别关心对整个科学界和人类社会有较大影响的跨学科的课题,经常组织围绕这些课题的国际学术交流和国际研究计划。国际科学理事会虽然是非政府国际组织,但它同联合国及其许多专门机构有密切的联系,是政府间国际组织与科学界之间的桥梁和纽带。国际科学理事会的成员分为国际科学团体和国家科学团体两类,前者为国际性的专业科学联合会,后者包括国家(地区)成员、附属成员和观察员。当今的国际科学理事会有27个国际性专业学会、101个国家或地区的科学团体会员(包括73个成员,15个附属成员和13个观察员)以及26个国际科学联系成员和4个地区性联系成

员。世界上只有一种四海皆同的自然科学,它打开了通向团结、自由和美好的道路。科学家的国际主义理想是推动科学国际化的动力,现代化的资讯设备为科学的国际化提供了条件,现代经济的国际化也在促进科学发展的国际化进程,人类的全球意识的增长是科学国际化进一步发展的良好的社会环境。

7.3.3 大学

主导知业文明时代社团系统的大学有其悠久的历史传统,古时候的希腊学园和中古时代的中国书院是它的先驱。柏拉图(Platon,约公元前427—347)于公元前393年开办的学园(Akademie),是雅典传统教育和毕达哥拉斯学派教育经验结合的产物。学园的教师和学生过着毕达哥拉斯学派式的苦行主义生活,通过灵活的教学形式(讲座、讨论和主题报告会等)把学生培养成好公民和社会中能干的政治家,它常常被看作是世界第一所大学。中国的书院,集教育、研究和藏书于一体的文化机构,从唐末至清末绵延千余年。“讲会”制度是书院的重要教学方式,学生参与管理是书院不同于官学的特点,山长和讲师所长决定书院的学术传统。以自由讲学为主要特征的中国书院,以朱熹(1130—1200)亲自主持的白鹿洞书院为其完美的典型,它类似于现代的研究生院。大学(university),具有不纳税和不服兵役特权的教师和学生共同体,兴起于12世纪中叶以后的欧洲。中世纪欧洲的大学附属修道院和大教堂并以培养牧师为主要任务,文艺复兴以后大学开始脱离教会的束缚而成为新思想的摇篮和科学进步的策源地。在走向知业文明时代的当今世界,大学教育已经从精英教育发展成为一种大众教育,美国哈佛大学的传统和法国大学区的演进,大学作为社团的独立自主性格。

哈佛大学(Harvard University)创建于1636年,初名剑桥学院,1639年改称哈佛学院,1780年始称哈佛大学,总部位于美国历史文化名城波士顿。1620年移居马萨诸塞州的英国清教徒,以英国剑桥大学为榜样,在查尔斯河畔建立了剑桥学院,随学院逐渐兴起的小镇也得“剑桥”之名。而“哈佛”之名则是为纪念它的创建人和第一个捐资人约翰·哈佛(John Harvard,1607—1638),这位英国剑桥大学文学硕士出身的年轻牧师,在1638年去世时把他的图书馆和一半财产留给了剑桥学院。哈佛大学从最初的一位教师和九名学生,发展到今天1.4万教职员和1.8万学位学生(另有1.3万非学位学生)以及大批外国留学生和访问学者,从以英国大学的教材为蓝本到今天拥有10个研究生院、40多个系科、100多个专业。有6位美国总统和34位诺贝尔奖得主曾就读哈佛大学。哈佛大学建立在美国成立之前约一个半世纪,它是美国第一所大学并且享誉世界。哈佛大学校徽上用拉丁文写着“真理”,哈佛大學校训用拉丁文写着“以柏拉图为友,以亚里士多德为友,更要以真理为友”,都昭示着哈佛大学的办学宗旨。尽管哈佛大学早年的许多毕业生成为了整个新英格兰地区的清教徒聚居地的牧师,但学校却从未正式加入过某一个特定的教派。哈佛大学形成了一个不同寻常教授治校传统,教员在决定学校预算、捐

赠、额外收益等方面的权力大于校长。2006年,校长劳伦斯·H·萨默斯被迫宣布辞职一事足以展示了哈佛大学的自治传统。

法国的大学区制度(acadmie),一种大学自治的制度,始于拿破仑时代的1806年并一直延续到今日。其自治传统可追溯到中世纪创立的巴黎大学(1180),以自治性和行会性为精神支柱和组织原则,以“罢教权”相威胁周旋于教权和皇权之间,最终建立起一个具有绝对特权的自治团体。在18世纪大革命之前,法国已经建立了许多所自治性的大型院校,在这方面欧洲其他国家都不能与法国媲美。1789年的大革命使法国教育彻底摆脱教会的束缚,而拿破仑(Napoléon Bonaparte,1769—1821)《关于帝国大学条理的政令》(1808)开创的大学区制又奠定了大学自治形式的基础,虽然其初衷是中央集权管理。经过一个半世纪的反复调整 and 不断改革,大学独立自主的地位终于得到了法律保障。在“五月风暴”(1968年5月)冲击下,法国议会通过了大学自治的《高等教育方向指导法》(1968),确定了自主自治、民主参与和学科相通三大原则,使法国高等教育走上完全独立自主的道路。它规定了大学校长由选举产生,学校章程和机构设置以及教学科研和对学生的考察全由学校自行决定,在财政方面学校具有独立法人资格。新的《高等教育法》(1984)以法律的形式重新肯定了1968年确定的大学办学原则,确定了高等教育机构的“科学、文化和职业性”的独立实体地位。

董光壁

8. 思维工程系统

作为工程系统一个子系统的思维工程系统,按某种预定目标建造概念的世界亦即可能世界,可以区分为推理、演算和确证三个子系统,分别以合理、精确和可靠为主导目标。

8.1 推理工程系统

作为思维工程系统子系统的推理工程系统,其发展经历了农业文明时代的形式逻辑主导、工业文明时代的符号逻辑主导两个阶段,正在走向知业文明时代的异释逻辑主导。亚里士多德的三段论、罗素的逻辑公理化和柯斯塔的弗协调逻辑,是推理工程系统演化过程中的三大典型工程。

8.1.1 亚里士多德的三段论式

形式逻辑以抽象的形式处理思维推理过程,其历史可以追溯到古希腊的逻辑学、古中国的名辨学和古印度的因明学,其中的古希腊逻辑学产生了深远的世界影响。为古希腊逻辑学做出最重要贡献者是亚里士多德(Aristotle,前384—前322),德国思想家康德(Immanuel Kant,1724—1804)把亚里士多德的逻辑学定名为“形式逻辑”。亚里士多德留存下来的著作多达47种,而历史上有记载的则不少于170种。这些著作都不是亚里士多德亲自编定的,而是其后学们搜集、辨识和编辑成书的,并且是在他死后300年的公元前40年前后才编成的。其中包括逻辑学、天文学、动物学、地理学、地质学、物理学、解剖学、生理学、心理学、伦理学、政治学和诗学等,几乎构成了他那个时代的一部科学知识百科全书。亚里士多德的逻辑学著作《工具论》,由范畴、解释、前分析、后分析、辩论和辨谬六篇组成,是其后学们从他的哲学著作中选辑而成的。在亚里士多德看来,逻辑学既不是理论知识也不是实际知识,只是获取知识的工具。《工具论》主要论述了演绎法,讨论了概念和范畴、判断和命题、证明和谬误等,为形式逻辑奠定了基础,对这门科学的发展具有深远的影响。

亚里士多德把论证分为“从个别到普遍”和“从普遍到个别”两种过程,前者是归纳法而后者是演绎法。但是他着重研究和总结了演绎推理的一般原则——三段论式,由大前提、小前提和结论三个判断构成的思维推理过程的抽象形式。波兰逻辑学家卢卡谢维茨(Jean Lukasiewicz,1878—1956)的精深研究指出,一个真正的

亚里士多德式三段论实例的现代表达应当是：“如果所有人的都是有死的，并且所有希腊人都是人，那么所有希腊人都是有死的。”把这种实例的现代表达形式，以 P、S、M 分别代表大中小词，就是：“如果所有的 S 是 P，并且所有的 M 是 S，那么所有的 M 是 P。”更精确的表达方式应当是：“如果 P 表达所有的 S，并且 S 表达所有 M，那么 P 表达所有的 M。”这三个命题的每一个都确定了两个概念之间的关系。这样的确定叫做判断。一个三段式由三个判断组成：两个前提和一个结论。前提中的一个应该是全称判断，叫它大前提(Major)，另一个应当是肯定判断，叫它小前提(Minor)。理由是，由两个特称判断或两个否定判断，不能抽出任何结论。

亚里士多德把科学研究程序看作一个完整的归纳—演绎过程，“从观察上升到一般原理，然后再返回到观察”，即从要求解释的现象中归纳出解释性原理，然后再以这些原理作前提演绎出关于现象的陈述。演绎是以归纳达到的概括作为前提，运用三段论式演绎出观察的陈述。他对演绎前提出四个逻辑以外的要求：一要求它必须是真的，二要求它必须是无需证明的，三要求它必须比结论更为人所知的，四要求它必须是结论的原因。这些要求是要排除假前提，避免解释的无穷倒退，保证事物的因果关系。科学演绎的关键在于，根据要证明的陈述选择适当的中词。他认为，科学理论应当是通过演绎组织起来的一组陈述，每一门科学都应当有它的第一原理，它作为该科学一切证明的出发点起着演绎前提的作用。他把公理和公设加以区别，公理是一切科学公有的真理，而公设则只是某一门科学所接受的第一原理，并且他把同一律、矛盾律和排中律列为公理。数学家欧几里得(Euclid, 前 330—前 275)以其几何学，物理学家阿基米德(Archimedes, 前 287—前 212)以其静力学，实现了亚里士多德演科学理论演绎系统化的理想。

8.1.2 罗素的逻辑公理化

符号逻辑以数学计算的方法处理推理和证明等逻辑问题，所以也称其为“数理逻辑”，又因为它是现代的产物而称为“现代逻辑”。用数学计算代替人们思维中逻辑推理过的思想，早在 17 世纪就已占据了欧洲一些思想家的头脑。1656 年，英国哲学家霍布斯(Thomas Hobbes, 1588—1679)提出，用数学方法研究逻辑思维，德国数学家莱布尼茨(Gottfried Wilhelm Leibniz 1646—1716)设想以一种“普遍的符号语言”进行如数学推理那样严密的“思维演算”。英国数学家布尔(George Boole, 1815—1864)发表《逻辑的数学分析》(1847)等论文，通过构造抽象代数系统(后世称“布尔代数”)，建立了第一个命题演算系统。德国数学家弗雷格(Gottlob Frege, 1848—1925)发表了《概念的演算》(1879)等著作，通过区分命题表达和真假判断，以及把数学中函数概念引进逻辑系统，建立了第一个谓词演算系统。英国数学家罗素(Bertrand Arthur William Russell, 1872—1970)和怀特海(Alfred North Whitehead, 1861—1942)合作建立了一个包括命题演算和谓词演算的完整系统，对符号逻辑的发展起了承前启后的作用。

1900年,罗素开始接触布尔和皮亚诺(Peano Giuseppe, 1858—1932)的符号逻辑;1901年,他开始与怀特海合作研究数学的逻辑基础;1902年,他做出了第一个贡献,在给弗雷格的信中指出了一个悖论,后来成为著名的罗素悖论。接着他进入建立数学的逻辑基础的研究,以解决他自己提出的悖论问题。在其著作《数学的原理》(1903)中,他对自己成果作了概要的说明,后来又在其与怀特海合著的三卷本《数学原理》(1910—1913)中做了发挥。他们试图仅从逻辑本身的展开导出全部数学,而不需要数学所特有的任何公理。他们的这种数学逻辑主义的宏大计划,因为使数学只有形式而没有内容,遭到了许多数学家的批评。但他们在符号逻辑方面却做出了公认的重要贡献,以完全符号的形式彻底实现了逻辑的公理化。

《数学原理》建立的命题演算和谓词演算的完整系统,包括不定义的概念,如基本命题的概念、命题函数的概念、一些基本命题为真的肯定、一个命题的否定和两个命题的析取等。所谓命题是指陈述一个事实或一个关系的语句,一个命题的函数则含有一个变量,将其替换为一个值就给出一个命题。一个命题的否定指“这个命题成立不是真的”。一个命题 p 的否定记作 $(\sim p)$,两个命题 p 和 q 的析取记做 $(p \vee q)$,表示 p 或 q 。肯定 $p \vee q$ 就是指 p 并且 q , $\sim p$ 并且 q ,以及 p 并且 $\sim q$ 。命题之间最重要的一种关系是蕴涵,即一个命题的真强制着另一个命题的真。蕴涵, $p > q$,定义为 $\sim p \vee q$,它意味着 $\sim p$ 并且 q , p 并且 q ,或 $\sim p$ 并且 $\sim q$ 。《原理》中给出几个公设:1)个真的基本命题所蕴涵的命题是真的,2) $(p \vee p) > p$,3) $q > (p \vee q)$,4) $(p \vee q) > (q \vee p)$,5) $[p \vee (q \vee r)] > [q \vee (p \vee r)]$,6)由 p 的肯定和 $p > q$ 的肯定可得 q 的肯定。他们从这些公理推得一些定理,包括形式逻辑中的归谬律、排中律和亚里士多德三段论式都作为定理出现: $(p > \sim p) > \sim p$ (归谬律), $p \vee \sim p$ (排中律), $[p > r][p > q] > (p > r)$ (三段论的一种形式)。

罗素之后的符号逻辑,在命题逻辑(propositional logic)和谓词逻辑(predicate logic)的基础上发展出的四大分支,公理集合论(axiomatic set theory)、模型论(modal theory)、递归论(recursion theory)和证明论(proof theory)。20世纪60年代以后的符号逻辑在扩展和变异两个方向发展,扩展逻辑(extended logics)发展出模态逻辑(modal logic)、时态逻辑(tense logic)、道义逻辑(deontic logic)、认知逻辑(epistemic logic)、优选逻辑(preference logic)、祈使逻辑(imperative logic)、疑问逻辑(erotic logic),异释逻辑(deviant logics)发展出多值逻辑(many-valued logic)、直觉主义逻辑(intuitionist logic)、量子逻辑(quantum logic)、相干逻辑(relevant logic)、模糊逻辑(fuzzy logic)、弗协调逻辑(paraconsistent logic)和自由逻辑(free logic)等。

8.1.3 柯斯塔的弗协调逻辑

弗协调逻辑(也译次协调逻辑、不协调逻辑、超协调逻辑和悖论逻辑),一种尝试处理矛盾的非平凡的(non-trivial)逻辑体系(非协调形式系统),由巴西逻辑学

家科斯塔(N. C. A. da Costa, 1929—)首创。面对逻辑学以及自然科学和社会科学等领域中许多不协调命题,哥德尔(Kurt Gdel, 1906—1978)的论文《论〈数学原理〉和有关系统中的形式不可判定命题》(1931),人们怀疑矛盾律的普遍有效性并从而进行了改造经典逻辑的种种努力。卢卡西维茨发现亚里士多德曾设想矛盾律不普遍有效的情况,他由此联想到否定平行公理导致非欧几里得几何诞生,并进而认为矛盾律不普遍有效可能导致一种非亚里士多德的新逻辑诞生。俄国数学家瓦西里耶夫(Aleksander Vasil'ev, 1880—1940)提出想象逻辑,设想通过引进新质把只包含肯定和否定两种质的亚里士多德二维逻辑扩大到 n 维。波兰逻辑学家雅斯可夫斯基(Stanislav Jaskowski, 1906—1965)提出“会谈逻辑”,设想建立一个矛盾系统——包含正反两个相互矛盾命题的系统。瓦西里耶夫和雅斯可夫斯基等人的设想没能打动同行,真正获得成功的是柯斯塔创立的非协调形式系。在 1976 年的国际逻辑学会议上,秘鲁哲学家奎萨达(Quesada)首次使用“弗协调逻辑”这一术语,用以表达柯斯塔创立的非协调形式系统的本质特征,即矛盾律被削弱而不再普遍有效之后仍能保持一种稍弱的协调性。

科斯塔的两篇论文,《不协调系统的命题演算》(1963)和《不协调系统的理论》(1974),构造了弗协调命题演算系统 C_n 、弗协调谓词演算系统 C_n^* (不带等词)和 $C_n =$ (带等词)及弗协调的摹状词演算系统 D_n ,从而开创了弗协调逻辑。他定义了一系列逻辑系统 $C_n (1 \leq n \leq \omega)$ 。在 C_1 系统中, $\neg (A \wedge \neg A)$ 成立时,归谬律才成立。在 C_2 系统中, $(\neg (A \wedge \neg A)) \wedge \neg ((\neg (A \wedge \neg A)) \wedge (\neg \neg (A \wedge \neg A)))$ 成立时,归谬律才成立。如此类推,可以定义到 C_ω 。在弗协调逻辑系统里,矛盾律和反证法不再普遍有效, A 和 $\neg A$ 可以同时成立。弗协调逻辑动摇了矛盾律的绝地地位,改变了否定词的原有概念。作为一种非经典的新逻辑体系的弗协调逻辑,它将矛盾区分无意义的和有意义的两种,前者会在形式系统中扩散并使任何公式都变成定理而必须排除,而后者在非协调形式系统中可以合法地存在并且不会扩散。弗协调逻辑体系以新的视角、新的途径、新的方式,为人们处理各种矛盾提供了具有辩证意味的“亦此亦彼”的逻辑模式和洞察力。作为迄今唯一能处理非协调性的逻辑理论的弗协调逻辑,它适合作为经典逻辑所无法处理的那些非协调理论的基础。弗协调逻辑还具有深刻的哲学意义和实践价值,它有助于重新认识思维领域的矛盾问题,逻辑矛盾、辩证矛盾和悖论。

科斯塔创立弗协调逻辑之后,许多逻辑学家开始沿着科斯塔的系统做更为深入的研究,并将其应用于其他非经典逻辑,得到了许多全新的逻辑系统。国内张清宇在弗协调逻辑方面开创了新的方向,建立了弗协调条件句逻辑 PIW 和 C_nW 、弗协调模态逻辑 C_nG' 以及弗协调时态逻辑 $C_nG'H'$ 和 C_nUS 等。当将弗协调逻辑运用于真值模态逻辑时,可得到一避免了善良的撒玛利亚人悖论的道义逻辑系统。构建弗协调逻辑和弗协调理论之间的应用理论,弗协调逻辑在计算机和人工智能上的应用。弗协调逻辑可以用来建模有矛盾的信仰系统,但不是任何东西都能从

它推导出来的。在标准逻辑中,必须小心地防止形成说谎者悖论的陈述,而弗次协调逻辑由于不需要排除这种陈述而更加简单(尽管它仍然必须排除 Curry 悖论)。弗协调逻辑可以潜在地克服哥德尔不完备定理蕴涵的算术限制,而是完备的。弗协调逻辑学家们倾向于认为悖论不能当作逻辑矛盾处理,它所包含的是有意义的真矛盾。

8.2 演算工程系统

作为思维工程系统子系统的演算工程系统,计算、证明和作图建造可能世界的概念体系,其演化经历了农业文明时代的常量演算主导和工业文明时代的变量分析主导两个历史阶段,正在进入知业文明时代的符号计算主导。欧几里得《几何原本》、微积分学的创建和几何定理机器证明,是演算工程系统演化过程中三大典型工程。

8.2.1 欧几里得的《几何原本》

迄今,人们对欧几里得(Euclid,约公元前 323—前 235)的生平仍然所知甚少,没有人知道他准确的生卒年月和出生地,这里给出的只是根据有关资料得出的一个大致估计。据希腊哲学家普罗克鲁斯(Proclus,410?—485)的有关记载,他是托勒枚一世(前 305—前 285)时期的数学家,据说他曾在雅典的柏拉图学园学习过,并曾任职坐落在亚历山大城的国家博物馆,后来还在那里创办了一所学校。他生前写了不少著作,包括数学、物理学和天文学。在数学方面,最重要的是《几何原本》(Elements),此外还有《几何习题集》和《数据》因收在帕普斯(Pappus,公元 3 世纪左右)的《分析集锦》中而被保存下来,其他如普罗克鲁斯提到的《论(图形的)剖分》和帕普斯提到的《二次曲线》、学生用几何学《辨伪术》、关于几何作图法的《衍论》、《曲面—轨迹》等均已失传。在物理学方面,有《光学》和《镜面反射》传世;在天文学方面,有教本《现象》留给后人。亚里士多德的所有手稿均已荡然无存,现有传世著作都是根据其他著作者的修订本和注释本整理出来的。《几何原本》的来源主要是亚里山大城的数学家色翁(Theon,公元 4 世纪)修订的抄本及其讲课的记录,作为现代研究者主要依据的抄本是皮拉德(Francois Pryard,1760—1822)的发现于公元 10 世纪的希腊文抄本,它属于色翁本的一种更早的抄本。

《几何原本》研究者们的考证表明,书中的大部分材料都能找到了来源,实际上主要是柏拉图学派数学家们的研究成果。把它们汇聚成一个演绎系统是一项复杂的工程,众多定理的排列和证明以及其严密论证无疑应当归功于欧几里得。《几何原本》全书 13 篇,除几何外还包括有比例和数论:第 1—4 篇,论述直边形和圆的基本性质;第 5 篇,关于比例论;第 6 篇,关于相似形;第 7—9 篇,关于数论;第 10 篇,关于不可度量分类;第 11—13 篇,关于立体几何和穷竭法。欧几里得在《几何原

本》的第1篇中首先给出第1部分所用的点、线和面等几十个定义,接着给出5个公设和5个公理。欧几里得在《几何原本》中根据定义、公设和公理证明了几百条几何定理。公设:1)从任一点到任一点作直线(是可能的);2)把有限直线不断循直线延长(是可能的);3)以任一点为中心和任一距离(为半径)作一圆(是可能的);4)所有直角彼此相等;5)若一线与两直线相交,且若同侧所交两内角之和小于两直角,则两直线无限延长后必交于该侧的一点。公理:1)跟同一件东西相等的一些东西,它们彼此也是相等的;2)等量加等量,总量仍相等;3)等量减等量,余量仍相等;4)彼此重合的东西是相等的;5)整体大于部分。

《几何原本》是最早的一本内容丰富的演绎体系的数学书,有条不紊地从简单到复杂编排了一系列的定理。尽管现代数学家们可以找出它的许多不够严密之处,但是由一小批公理证明出几百个定理,足见欧几里得体系的演绎系统化的尝试的成功。《几何原本》不仅对其后的数学发展有深远的影响,而且对其后整个科学理论模式的形成都有其深刻的影响。英国物理学家牛顿(Isaac Newton, 1642—1727)继承了欧几里得几何学的演绎体系传统,在其著作《自然哲学的数学原理》(1687)中,他把通过分析发现的力学定律作为公理,运用综合证明明晰地陈述所有力学定理,使力学形成一个公理体系。

8.2.2 微积分学的创建

微积分学是欧几里得几何学以后整个数学中最伟大的创造,使数学研究从常量演算进入了变量分析阶段。“分析”这个词的含义,有一个从柏拉图(platon)指称逆向寻因到指称代数的转变过程。1590年,韦达(Fraciscus Vieta, 1540—1603)建议用“分析”(analysis)代替在欧洲语言中没有意义的“代数”(algebra)。对韦达和笛卡儿(Rene Descartes, 1596—1650)来说,分析只不过意味着代数对几何的应用。牛顿和莱布尼茨创立的微积分学是代数的扩展(无穷的代数),所以微积分学也就被叫作分析学,如瑞士数学家欧勒(Leonhard Euler, 1707—1783)将其微积分学著作称《无穷小分析》(1748)。

微积分的思想渊源可追溯到古希腊几何学家使用“穷竭法”,即以曲线的内接和外切多边形近似地测量曲线的长度和曲线所包围的面积,并通过增加多边形的边数提高近似精度。德国天体物理学家开普勒(Johannes Kepler, 1571—1630)曾利用类似穷竭法计算圆面积、球体积、锚环体积,还研究从圆经过椭圆、抛物线和双曲线到线耦的连续过渡,并首次把“轨迹”这个术语引进几何学。伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)的学生意大利数学家卡瓦利埃里(Bonarentura Cavalieri, 1598—1647)把开普勒的方法普遍化为“不可分量法”,即线是由无限多点组成的、面是由无限多条线组成的和立体是由无限多个面组成的。英国数学家瓦利斯(John Wallis, 1616—1703)又把卡瓦利埃里的方法同解析几何和更为高级的代数分析结合起来并求出了许多面积(1655)。牛顿的老师英国数学家巴罗(Isaac Bar-

row, 1630—167)改进了法国数学家笛卡儿和费尔马(Pierre Fermat, 1601—1665)求曲线切线的方法,根据曲线方程计算该曲线上两个邻近点的斜率确定过其一点的切线的斜率(1696)。这些工作成为牛顿和莱布尼茨创建微积分的先导。

牛顿的微积分思想源于他对运动的“无限小量”之描述的不断探求。在他早期的论文中就已摆脱了线和面是无限小量集合的纯几何学观点,在 1663 年,他就沿用英国数学家格雷戈里(James Gregory, 1638—1675)使用过的符号“ o ”表示无限小量,不仅用无限小量建立了求二次曲线切线和曲率的普遍方法,而且把无限小量引进对运动的描述。他假定运动物体所描绘的无限小的轨迹同其描绘此轨迹时的速度成正比,这意味着线是由一个以不断改变着其运动的点描绘的。在其著作《运用无穷多项方程的分析学》(1669 年完成,1711 年出版)中,他以“ o ”表示的无限小增量“瞬”(moment),不仅给出了求一个变量对另一个变量的瞬时变化率的普遍方法,而且证明了(由无穷小面积和表示的)面积可以由求变化率的逆过程得到。在其著作《流数法和无穷级数》(1671 年完成,1736 年出版)中,他把变量看作是点、线、面的连续运动产生的,并把变量叫做流(fluent),而把变量的变化叫做流数(fluxion),论述了已知两个流之间的关系而求相应两个流数之间的关系及其逆问题。在其著作《求曲边形的面积》(1676 年完成,1704 年出版)中,他以“消失量的最后比”和“初生量的最初比”取代无穷小量(流数),走向了一种极限概念。

莱布尼兹独立于牛顿奠定了微积分学的另一种形式的基础,他从几何学的角度研究曲线的切线和曲边梯形的面积为出发点。他的微分原理第一次公布在论文《一种求极大值和极小值如切线的新方法,它也适用于分式和物理量,以及这种新方法的奇妙类型的计算》(1684)中。他把微分学的主要问题归结为,计算当自变量 x 有一无限小变量时因变量 y 的增量问题。他把这种增量称之为“差分”,他通过添加字母 d 来标记它, dx 或 dy 。他导出了由 dy/dx 表示的切线的斜率,并从而创建了求 dy/dx 的算法。他的积分原理第一次公布在论文《潜在的几何与分析不可分和无限》(1686)中。他从求曲线图形面积出发得到积分的概念,积分是微分的反问题,即由一给定式子的微分确定该式的原形。他用符号 $\int$ 表示积分,它是 Summa(和)这个词的字头 S 的拉长变形, $\int$ 运算意味着和,而 d 运算则意味着差。莱布尼兹的微分和积分符号虽然在这两篇论文中首次公布,可是从他的笔记中可以知道,在他 1675 年以来的笔记中早已使用。对于微分他记为 x/d 或 y/d ,对于积分他用前缀 Omnia 标志。他的著作《微分学的历史和起源》(1714),给出他有关思想的发展。

牛顿和莱布尼兹的微积分学是能够应用于许多函数的一种新的普遍方法,它不再是古希腊几何学的附庸延展,而是作为一门独立的学科,用来处理广泛的问题。他们两人使用的代数记号和方法,不仅提供了比几何学更为有效的工具,而且可以用来处理许许多多不同的几何学和物理学的问题。以前作为求和处理的问题,如面积和体积问题,现在归结为反微分问题。

8.2.3 几何定理的机器证明

由于计算机和算法研究的进展,本来只会数值计算的电子计算机,在 20 世纪 50 年代中期发展到可以进行符号计算了,于是由计算机实施的演算就有了数值计算、符号计算和数值与符号混合计算三种方式。数值计算的长处是快速,其短处是只能得到近似值。符号计算的长处是精确,其短处是计算量大并且表达形式庞杂。混合计算折中两者,善取其长而规避其短。由机器实施的符号计算,即机器代替人工对代表数学对象的符号进行演算,这些符号可以代表整数、有理数、实数、复数或代数,也可以代表其他的数学对象,如多项式、有理函数、矩阵、方程组以及群、环、域等等抽象数学对象。由于各种强有力的算法不断提出,如计算多项式理想的 Grobner 基算法、多项式分解的 Berlekamp 算法和计算有理函数积分的 Risch 算法等,除标准的代数计算以外,极限计算、符号微积分计算、微分方程的符号解和几何定理的证明也逐步发展起来,其中最引人注目的几何定理的证明。

几何定理机器证明的探索可以上溯到 17 世纪。法国数学家笛卡儿发明了统一处理几何问题的坐标法,它为发展解析几何奠定了基础,在此基础上发展了用计算机解决几何问题的种种方法。德国数学家莱布尼兹提出推理机器的设想并创立二进制数学,它为发展符号逻辑奠定了基础,在此基础上发展出电子数字计算机。德国数学家希尔伯特(David Hilbert, 1862—1943)在其著作《几何基础》(1899)中,提出公理系统中的判定问题,并给出了一类几何问题的机械化解题方法。电子计算机诞生(1946)不久,波兰数学家塔斯基(Alfred Tarski, 1901—1983)就提出“一切初等几何和初等代数命题构成的命题类都是可判定的”的定理(1948),并发展了几何问题机器证明的代数方法。格兰特(H. Gelernter)的后推搜索法(1959)和奈文斯(A. J. Nevins)的前推搜索法(1975),开辟了一条能产生传统风格的逻辑证明法(也称人工智能法)。首次实现机器证明的是美国人工智能专家纽厄尔(A. Newell)和西蒙(H. Simon),他们发明了 LT 数学定理证明程序,并在电子计算机上证明了罗素和怀特海《数学原理》中的 38 条定理(1956)。接着又有中国—美国数理逻辑学家王浩(1921—1995)提出一种算法,并以其证明了罗素《数学原理》中的 350 多条定理(1959)。美国哈肯(W. Haken)和阿佩尔(K. Appel)四色定理的机器证明(1975)也曾轰动一时。在几何定理机器证明的道路上,中国数学家吴文俊的工作具有里程碑的意义。

吴文俊(1919—)不仅在代数拓扑学和微分拓扑学等领域做出了重要贡献,而且提出了一种数学机械化纲领。他在其论文《初等几何判定问题与机械化问题》(1977)中,提出了一种证明等式性初等几何定理的新代数方法;在著作《几何定理机器证明的基本原理(初等几何部分)》(1984)中,阐明了各类几何定理机械化证明的基本原理;在论文《关于代数方程组的零点》(1985)中,正式建立了求解多项式方程组的消元法。他将其机械化定理证明概括为里特(J. S. Ritt)原理和零点分解定

理,并进一步把它们精密化为作为机械化数学基础的整序原理和零点结构定理。他认为,他的这些开创性成果得之于西方代数学出色成果与中国古代优秀数学思想的融合。他提出的“数学机械化”思想,创立了机器证明的“吴方法”,影响深远,并推进了几何定理机器证明及其相关领域的研究。周咸青用吴文俊方法编程证明了几百个非平凡的几何定理。张景中发展了一种基于几何不变量面积的消点法,实现了如通常几何教科书中几何定理证明那样便于人们理解、掌握和检验的可读证明,开辟了几何问题机器求解的另一条路线。

8.3 确证工程系统

作为思维工程子系统的确证工程系统,可以区分为观察、实验和模拟。确证工程系统的演化,经历了农业文明时代的观察主导和工业文明时代的实验主导两个历史阶段,正在进入知识文明时代的模拟主导。中医脉诊法、牛顿分光实验和FPU模拟计算,是确证工程演化过程中三大典型工程。

8.3.1 中医脉诊法

基于经验观察形成的中医四诊法,望诊、闻诊、问诊和切诊相互参合确诊病症的方法,在科学史中具有非常独特的地位。望诊作为诊断病症的一种方法,指医生用肉眼观察病人外部的神、色、形、态,以及各种排泄物(如痰、粪、脓、血、尿等)。闻诊作为诊断病症的一种方法,指医生通过听觉和嗅觉收集病人说话的声音和呼吸咳嗽散发出来的气味等材料。问诊作为诊断病症的一种方法,指医生通过与病人或知情人的交谈了解病人的主观症状、病情演变、治疗经历和家族病史等。切诊作为诊断病症的一种方法,指医生用手对患者体表进行触摸按压的诊法,主要是用手指按压病人腕部动脉以察脉象变化的脉诊,也包括以手触摸按压病人体表某些部位以察局部之病变。概而言之,通过视、听、嗅、触等感觉功能全面了解和系统地掌握与疾病相关的各种信息,以求对病症做出正确的判断。四诊法中最具特色的是切诊中的脉诊法。

脉诊法是根据病人体表动脉搏动显现的部位、频率、强度、节律和脉波形态等因素组成的综合征象,来了解病人所患病症的内在变化。它是长期以来众多医生经验的总结和升华,特别是战国时期的扁鹊和三国两晋时期王叔和等名医。脉诊法作为中医所独有的诊断方法,从草创到成熟曾经出现过三部九候法(比较头、手、足动脉大小变化以确定病症所在)、人迎寸口法(比较颈动脉和桡侧动脉之大小以确定疾病归经)、四时脉法(脉象配四时,各有所常,春弦、夏钩、秋毛、冬石)和脉象法(包括分经候脉、独取寸口和寸口脉法)。通过两千多年诊疗实践,各种不切实际的脉法被淘汰,各种脉象与疾病关系的正确经验不断补充到脉法中来,最后形成独立而成熟的寸口脉法(寸口被区分为寸、关、尺三部,以诊五脏六腑之病变)。有关

脉诊的论述长期杂在各种医书中,如西汉成书的《素问》、《难经》和张仲景的《伤寒杂病论》等,直到三国两晋时期才有名医王叔和整编出脉诊专著《脉经》。

王叔和(生卒年不详)的《脉经》(成书年代不详)是中国最早的脉学专著,经历代辗转传抄而形成不同的古本,至北宋始有校正刻本,它成为后世祖本。它建立了一个独立统一的脉诊体系,成为此后历代脉诊实践和著述的基础。《脉经》共10卷97篇,前6卷比较系统地阐述了脉诊的方法和理论,第7—9卷辑录《伤寒杂病论》有关条文,而第10卷将寸口脉推广到十二经脉和奇经八脉等。第一卷的第一篇“脉形状指下秘诀第一”为总纲,首次将脉象总结为浮、芤、洪、滑、数、促、弦、紧、沉、伏、革、实、微、涩、细、软、弱、虚、散、缓、迟、结、代、动等24种并分别给以简要描述。在“分别三关境界脉候所主第三”中讲述寸口脉的三部划分法,在“两手六脉所主五脏六腑阴阳逆顺第七”中阐述“左手心(寸)、肝(关)肾(尺)和右手肺(寸)脾(关)命(尺)”之说。此书的问世和流传,使“独取寸口”诊脉法,从《素问》和《灵枢》的不分部以及《难经》的两部(尺和寸),归于寸、关、尺三部及其分候脏腑定式。

8.3.2 牛顿分光实验

作为实验确证理论之典型——牛顿(Isaac Newton, 1642—1727)分光实验,即光束通过三棱镜分散成彩色光带的现象,是科学史上讨论实验与理论关系的著名案例,经常作为英国哲学家培根(Francis Bacon, 1561—1626)所谓的“判决实验”被讨论。1664年,牛顿加入了光学研究的行列,他最初的研究是消除光学仪器缺陷的几何光学问题,但很快就转入物理光学问题的研究,在1666年他设计并完成了—个太阳光的分光实验。他把日光从窗户的一个小圆孔引进黑暗的屋里来,让它通过一个三棱镜的折射再投射到墙上。他发现在墙上呈现的不是圆像,而是一个伸长的椭圆像,并且其顶部呈现浅蓝色而底部呈淡红色。为了理解这个现象,牛顿又做了许多实验。其中有一个实验使光束连续通过两个棱镜,第一个棱镜使光束分散成光带,通过转动第一个棱镜使这光带的不同颜色的光分别通过第二个棱镜。这通过第二个棱镜的光不再发生色散,而且沿着从红到蓝的方向移动,其折射程度是逐渐增大的。通过这分光实验牛顿得到他关于光的颜色的理论:普通的光是由折射能力不同的射线混合而成的。在1670年至1672年的卢卡斯讲座中,他公布了自己的实验结果;1672年2月8日,在皇家学会上,他宣读了论文《关于光和颜色的理论》,以十三个命题的形式陈述了关于光的颜色的新理论,并旋即发表在《哲学杂志》上。

牛顿关于光的十三个命题来自一系列周密实验,而这一切都是对墙上显示的那拉长的彩色光带的疑问而引起的。来自窗户圆孔的光通过棱镜为什么会变成拉长的像而不是圆像呢?起初他怀疑这可能与光投射在棱镜的不同厚度的部位有关,但使光束通过棱镜的不同厚度的部位时,他并没有观察到像的形状的任何变化,于是“厚度不同”这一原因就被排除了。接着他想到也许同窗孔的大小有关,而

当他以不同的窗孔引进光线时,也没有观察到像的形状有任何变化。他又猜想,这可能是棱镜玻璃不均匀引起了像的形变,于是他把两块同形的棱镜一倒一正地贴合在一起以使不均匀相互抵消。光通过这种组合棱镜的结果是没有任何形变的圆像,又排除了“不均匀”作为像变形的原因。那么入射角不同是不是像拉长的原因呢?他通过转动棱镜在不同入射角度下观察,而结果则是入射角的不同几乎不改变折射光线的方向。牛顿甚至奇怪地想到,从棱镜出来的光有可能像被打的网球一样走了一条曲线,由曲率的不同造成了像的拉长。于是他在棱镜后不同的位置处观察,也没有得到光线弯曲的任何证据。这些实验逐渐地把牛顿引向这样的结论:普通光是由折射能力不同的射线混合而成的,不同的折射能力的射线具有不同的颜色,这正是拉长的彩色光带的成因。为了证实这一推论,牛顿做了前面已经讲过的那个让光连续通过两个棱镜的“判断实验”。

牛顿分光实验典型地体现了,实验对于一个科学陈述的可靠性的确证作用,以及实验理性和逻辑理性的关系。在这里,牛顿应用分析方法归纳出解释性原理:阳光是由颜色不同的光线组成的,棱镜使每种颜色的光以某个特定的角度折射。根据这一理论,他进一步用综合法去演绎某些进一步推断。如果这个光的颜色的新理论是正确的,那么某种颜色的光就应该以其特有的折射角通过棱镜并且不应再分解成不同颜色的光,牛顿以其“判决实验”确证了他的理论的这个推论。但牛顿的论文《关于光和颜色的理论》在《哲学学报》上发表后,还引起了一场争论,争论主要在他与英国物理学家胡克(Hooke Robert, 1635—1703)之间。为了回答胡克的指责,牛顿在其 1672 年 7 月致皇家学会秘书奥尔登堡(Henry Olednburg, 1618—1677)的信中强调,“我之所以相信我所提出的理论是对的”,“是因为它是从得出肯定而直接的结论的一些实验中推导出来的”。这场争论还使牛顿逐渐形成了他关于光的本性的思想:他先是以光的波动说解释颜色,接着又用微粒和波动结合的观点解释,最后他愈来愈倾向于微粒说解释。

8.3.3 FPU 模拟计算

FPU 模拟计算的开创者是费米(Enrico Fermi, 1901—1954),他与巴斯塔(J. Pasta)和乌勒姆(S. Ulam)共同完成了著名的 FPU 计算实验。费米是出身意大利的物理学家,为逃避法西斯的种族迫害而于 1938 年到美国。他在哥伦比亚大学研究中子物理,并于 1942 年建立世界第一个自持链式裂变反应堆,1944 年到洛斯阿拉莫斯协助美国物理学家奥本海默(J. Robert Oppenheimer, 1904—1967)制造原子弹,战后到芝加哥大学从事介子物理研究,但还经常访问他为之工作过的核基地。他很快就对洛斯阿拉莫斯那台世界最好的电子计算机 Maniac 发生了兴趣,并开始与巴斯塔和乌勒姆等人讨论它有可能的应用。费米想到那些解析数学无力处理的非线性系统的长时间行为和大尺度的性质方面的研究,并 1952 年策划了一个研究弱非线性振子系统能量趋向均匀分配过程的计算机实验。他们的计算模型是

一维非简谐振子,64个质点排成一条线,相邻质点之间除普通的弹性力外,还有很弱的非线性作用。这样的一维动力系统,各质点的坐标位移的重新组合,可以得到64种运动模式。让能量集中在第一个模式上为初始状态,计算其后的能量分布状况,并预期会很快地就热化到“能量均分”。但计算结果的“近回归”大出所料,这个系统完全没有“热化”的趋势,经过相当长一段时间后,能量重新集中到第一种运动模式上。

FPU实验报告《非线性研究》(LA-1940号)于1955年写成,但直到10年后,才在赛格瑞(E. Segre)主编的《费米文选》(1965)中发表。FPU在报告中指出,他们的计算机实验结果“真正地构成了一点发现”,它“暗示,人们普遍相信的非线性系统中的‘混合和热化’的普适性,并不总是被证明是正确的”。FPU模拟计算实验本身及其发现,标志着计算物理学的兴起。FPU模拟计算是计算机助发现的先驱工作,它不仅开数学实验之先河,而且还直接导致了计算物理学的三大发现:罗伦兹(E. N. Lorenz)发现相迹弥散的“混沌”(Chaos)现象(1963),札布斯基(N. J. Zabusky)和克鲁斯卡尔(M. D. Kruskal)发现非线性场的“孤子”(soliton)现象(1965)以及阿耳德(B. J. Alder)和温利特(T. E. Wainwright)发现速度相关的“长时尾”现象(1967)。这三大发现导致计算物理学三种代表性的方法和研究领域:混沌物理学、孤子物理学和分子动力学。

作为模拟发现新概念之典型的FPU实验——弱非线性一维动力系统的计算机实验,是物理学中确证的一次革命。物理学的研究方法,从此除了有先后成熟起来的实验方法和理论方法外,又增添了数学实验方法,并因而形成实验物理学、理论物理学、计算物理学三足鼎立的新局面。计算物理学以电子计算机为主要工具,它的特征主要不在于“计算”,而在于通过计算对自然过程进行模拟实验并从而做出发现。FPU实验的“近回归”结果,实质上是对1871年玻耳茨曼提出的“各态历经”假说的一个挑战。“各态历经”指保守力学系统的运动经过足够长时间后要经历等能面上的一切状态,统计物理的表述是系统处于等能面各点的概率相等,它是对动力系统的状态求平均这一统计物理学方法的根据。这些数学实验的发现,由理论物理学作进一步的论证并由实验物理学去检验。数学实验是一种介于古典演绎法和古典实验方法之间的一种新的科学认识方法,其实质在于,它不是对客体或现象进行实验,而是对它们的数学模型进行实验。数学实验包括4个基本方面:建立数学模型、拟定分析模型的数值方法、编制实现分析方法的程序和计算机上执行程序。

9. 学习工程系统

我们在《技术系统论》一卷中已经讲到了“学习技术系统”。我们把学习技术系统纳入社会技术系统中,学习技术系统是社会技术系统的一个子系统。美国数学家和控制论创始人 N. 维纳(1894~1964)在 1940 年曾经给学习下过一个明确的科学定义:能够在过去经验的基础上改变自己的行为模式,通过反馈使个体(或系统)行为模式能更加有效地应对其未来环境。这种学习定义既适用动物也适用于机器系统,为机器学习理论奠定了基础。艾什比发现适应与稳定机制之间的联系,指出生物体的适应和维持生存这类行为从结构上看就是稳定性,适应行为等价于稳定系统的行为。这样就把适应系统的反馈机制与生物的适应行为联系起来,将学习看作生物体从不适应变为适应的过程,个体发育和系统发育的学习都是动物界根据环境变化调节自己行为的方式。动物的学习能力和生殖能力,表面看起来如此不同,这两种现象却密切相关,动物的学习指在环境的影响下改变自己,而动物的生殖指繁衍出相似的后代。^①

学习是人类的天性,是适应环境的本能。学习是最自然的活动,是人类体验的基本组成部分,伴随我们每个人成长历程。然而,对于我们来说,大部分学习活动是无意识的,是在不知不觉中发生的,其中也有些神奇色彩:开始时我们蒙昧无知,随着时间的流逝,蓦然回首,我们已掌握了许多新知识。从小就开始学习,常常是通过“试错”学习。例如,从小就在大人指导下学走路,跌倒了爬起来再走,这样反反复复,最后学会了走路。人都有渴望学习的动机,学习是生命的源泉,是人类进步的不竭动力。

学习就是获得新知识,理解新知识,并在实践中应用新知识。在这个意义上,学习就是创新。通过学习,人类逐步达到与自然、与别人之间的和谐相处,增进适应环境、创造更美好未来环境的能力。

为了把学习纳入工程系统,我们需要把原有的“工程”的定义加以改造。按照原有的工程定义,“工程是人类改造物质自然界的完整的、全部的实践活动和过程的总称。”但从今天现实情况来看,这个关于工程的定义显然是狭义的。例如它包含不了今天人们已经普遍认可的“知识工程”。这是因为知识在今日和未来的生产和社会活动中的重要性正在与日俱增,知识已成为一个重要资源,一种生产要素,它与其他生产要素相结合,将共同发挥巨大作用。然而,知识工程没有被纳入旧有

^① 《技术系统论》,李喜先等著,科学出版社,2005 年,第 109 页。

的“工程”含义中。旧有的工程概念仅仅指大型的物质生产活动,如土木工程、机械工程、化学工程、采矿工程、水利工程、航空工程等等。甚至连组织管理中的“流程再造工程”(process reengineering),更有安居工程、希望工程等等,许多重要的工程都未被纳入“工程”的定义和释义中。在以知识为基础的社会中,旧有的工程概念需要加以拓宽。

我们要讨论的学习工程系统就是在这种拓宽了的工程概念基础上进行的。这里需要强调的是,学习工程系统包括两个方面:一是教育工程系统。这主要是指学校教育,即学生在学校中学习知识与技能,为未来服务社会作贡献;二是日益重要的组织学习。前一个方面是集体受教、个人学习,而后一个方面则是当前知识经济与创新时代最为重要的一个方面,尤其在技术创新主体企业中。虽然个人学习不可缺少,但关键是组织学习,它是一个真正的学习工程系统。所以,这里所指的“学习”主要指组织学习,也是本章讨论的中心议题。

组织学习的重要性越来越受到国际社会的广泛重视。1998—2000年间,经济合作与发展组织(OECD)连续召开了关于“学习型经济”的研讨会。此后,包括中国在内的许多国家都纷纷提出创建学习型社会、学习型城市和学习型企业。“学习型经济”表明,学习已成为知识经济进程的核心驱动力,学习工程系统的意义更加明显。学习型社会、学习型城市和学习型企业是不同范围内的学习工程系统。

9.1 学习工程系统的价值取向

学习工程系统的目标

我们把学习工程系统的目标简要地概括为以下三个方面:

1. 催生一种新的价值观念,把学习、获取知识、创造文明看作是最有意义、最具价值的生命存在形式;
2. 形成一种新的思维方式,克服传统的线性思维,运用考虑整体利益的系统思维方式;
3. 创造一种新的生活方式,积极进取,为争取人类更美好的生活而努力。

具体而言,它包含以下几个内容:

(1) 适应不断变化的环境

人们越来越认识到,随着全球化进程的加速,环境的变化很大,不确定因素越来越多,^①对一家企业或一家公司来说,想要在变幻莫测的环境中获胜,唯一关键的战略与策略就是学习。有一个公式表示学习的重要性,即,是 $L \geq C$ (L 是学习, C

^① 休·考特尼等著,“不确定条件下的战略”载《不确定性管理》,中国人民大学出版社,哈佛商学院出版社,2000年,第1—32页。

是变化)。曾在英国壳牌公司工作过 38 年之久,写了《长寿公司》一书的阿里·德赫斯(Arie de Geus)指出,历史上那些长寿公司之所以能长寿,靠的就是组织学习:“各层次、有效和持续的组织学习,以及随之而来的组织变革,是公司成功的前提条件。”^①而历史上那些倒闭与失败的公司,之所以失败的原因归根结底就是这些公司“不学习或学习得不是很快。”^②例如,1970 年被《财富》杂志列为 500 强的工业公司,到 1983 年有 1/3 已不复存在,原因是那些进行了学习和调整适应的公司生存下来,而那些不能进行学习和调整适应的公司逐渐淘汰了。新环境下,竞争不再是“阵地战”而是“运动战”,注重战略的动态特征,或动态实力,也就是“一个组织随着时间变化、适应、改变和更新的能力”。

环境在不断的变化,无论个人、无论组织都得不断学习,才能适应这种变化。

(2) 避免系统危机

前面说的是要适应环境的变化,这里要说的是,我们通过学习要去理解我们所处的环境是什么。只有真正理解了环境,我们才能有正确的对策。我们处在一个什么样的环境中呢? 这是一个相互联系与相互制约的复杂系统的环境。

发明“随机存取记忆体”、创建第一台通用数字计算机又是系统动力学的创始人弗雷斯特(Jay Forrester)说过这样的话:“技术进步或多或少是一种生产过程,即如果你将更多的钱和优秀的人员投入到某个有着巩固基础的领域,那么技术的进步就多少获得了保证。但人类面临的真正的大问题,是没有能力理解和掌握人类自己的种种复杂系统。”^③

我们人类正处在一个大范围的复杂系统环境中,人类社会自身也是一个复杂系统。它包含着技术的、经济的、文化的以及政治的子系统。如果我们仅以其中之一为中心,就有可能导致系统间的失衡。工业时代发展经济而造成环境破坏带来生态危机,这对人类发展是一个极其沉痛的教训。如果我们在加速技术发展的同时,忽视了其他系统的发展,轻视了与其他系统的协调,我们就将陷入“系统的危机”。系统间相互作用的思想虽然已越来越为人们所认识,但没有完全融入到我们的实践中,还没有真正影响我们的思维方式以及我们领导和管理社会机构的方式。“因此,在发展着的相互依赖性和加速的变化面前,我们要经受大规模的制度解体,以及大规模的等级制度权力机构的中枢神经系统的瘫痪。”^④

我们至今还没有学会这一切。事实上,如果缺乏诸系统之间的协调,技术进步也将受阻。所以,我们必须通过组织学习,认识和理解事物之间的相互联系性和相互依赖性,意识到整体要大于各个组成部分之和,从而真正改变我们对各个层次上的学习和相互影响的认识方式和思维方式,并学会组织创新。

① 阿里·德赫斯,“规划与学习”,载,休·考特尼等著,《不确定性管理》,第 54 页。

② 同 2

③ 彼得·圣吉,“经受考验”,载,罗文·吉布森编《重思未来》,海南出版社,1999,第 152 页。

④ 彼得·圣吉,《重思未来》,1999 年,第 152 页。

毫无疑问,思维方式的根本改变和组织管理的重大创新,同样存在着巨大的不确定性和风险,需要我们深入学习,要求我们培养起传统组织中所缺乏的特殊的学习能力。

(3)提升竞争力

在知识经济条件下,经营成功所面临的最大挑战是要创建出能将人的创造力充分发挥和生产率最大化的社会性组织。

组织好比知识的蓄水池,不是一潭死水,而是不竭的源泉、新观念、新知识不断从中涌出又汇入其中。关键是要获得并维持核心技术能力。为此,管理者需要懂得两点:①学会管理创造知识的活动;②深刻理解是什么构成核心能力,核心能力包括哪些方面?为此,需要建立一个有机的学习系统,形成一种基本的价值观念。这种基本价值观被称为“文化范例”:它们是“一系列相关的假设,组成了和谐的模式”。^①

彼得·圣吉指出:“学习组织的基本特征将是生产力的大幅度提高,以及人们觉得自己所处的工作环境更接近于他们真正崇尚的价值观。”^②鉴于价值观的意义,我们可以说,一个学习型组织的建立代表了组织文化的一个根本性的转变,从而带来一种适应提高竞争力的新型组织。

(4)创新的需要:创新需要知识,知识需要学习

20世纪70年代到90年代,创新源泉空前丰富,创新活动居主导地位,创新速度与力度不断增长。创新日益成为在高度竞争和全球化的经济中生存和发展的唯一途径,创新需求日益强烈,可能性也不断增加。

创新与科技、研发之间有一个公式,即:

创新>科技>R&D

创新需要整体性思考,需要系统集成、创造性的发挥和心智模式的转变。一句话,需要组织学习。

组织学习的目标可以有不同的层次,城市、企业、学校、社会都可以成为学习型组织,形成一个学习工程系统。例如像中关村科技园这种知识层次比较高,人员素质比较好的特定组织也还需要提出较高的目标。对于层次不及中关村的城市、地区的相关组织来说,学习型组织还有一个重要意义:就是提高人员的素质。例如,有的地市提出“建立学习型城市,全面提高市民素质”的战略目标是适合这些地市的具体情况。因为,中国已加入WTO,需要国际交流,“再也不能仅仅靠热情举杯、政策优惠等手段来招商引资了。”^③

综合起来说,学习工程系统的目标是:

①使企业成为长寿公司;

① [美]多萝西·巴顿,《知识活泉》(Wellspring of knowledge,中译文为《知识与创新》),新华出版社,2000年,第9页,第31页。

② 彼得·圣吉,《重思未来》,第175页。

③ 《光明日报》,2002年3月23日头版。

- ②学习本身就是享乐;
- ③合作竞争中求发展;
- ④价值观的转变;
- ⑤建设和谐社会的内在要求,活出生命的意义;
- ⑥组织深层变革与管理创新需要学习工程系统。

9.2 学习工程系统的观念基础

“学习工程系统”的提出并不是空穴来风,也非随心所欲,而是有其广泛深刻的原因,换句话说,它具有深厚的观念基础。它是建立在特定的价值目标、学习科学、认知科学、学习技术和管理变革的基础之上的。而其中最现实最根本的是,人们在长期的实践和理论探索中发现了传统组织的严重弊端,同时也看到提高通过学习与创新的实现未来组织变革的新希望。学习工程系统可能就是未来组织发展的新希望,而且人们正在使它变成现实。

学习型组织的提出者彼得·圣吉在他的《学习型组织的艺术和实务》(《第五项修炼》)中就传统组织的弊端提出了两个尖锐的问题:

(1)为什么在许多团体中,每个成员的智商都在120以上,而整体智商却只有62?

(2)为什么1970年列《财富》杂志“500强大企业”排行榜的公司到了80年代却有三分之一已销声匿迹?

圣吉对此回答说:

“这是因为,组织的智障妨碍了组织的学习和成长,使组织被一种看不见的巨大的力量侵蚀,甚至吞没了。……因此,90年代最成功的企业将会是‘学习型组织’,因为未来唯一持久的优势,是有能力比你的竞争对手学习得更快。”^①

为什么“有能力比你的竞争对手学习得更快”就成为“未来唯一持久的优势”呢?这就涉及我们所处的时代进入知识时代,这一时代特征规定了组织变革的必然性以及学习工程系统或组织学习价值观的新特征。

学习工程系统的观念基础是以下在逻辑上有内在联系的几个方面:

1. 知识的地位和作用空前提升

从工业时代发展到知识时代。知识将成为社会中最重要资源。当前知识已成为促进经济增长,推动社会进步和创业就业机会等最主要的驱动力量,成为增强国家、组织和企业竞争能力的最基本的战略资源。按照以资源为基础的发展模式,发展战略的重心正在从以物质为基础发展战略转向以知识为基础发展的战略。知识是创新的源泉,是获得并维持核心竞争能力的关键。人们对知识的理解已经发

① [美]彼得·圣吉,《第五项修炼——学习型组织的艺术与实务》,上海三联书店,1998年,第1页。

生了根本性的改变

首先是知识的涵义有了重大的变化。古代的学者仅把知识看作是“学问”；近代以培根为代表将它看作是“力量”；而现在知识是一种“能力”，是“产生有效行动所需要的能力”。知识的意义已经从过去的“是什么”(to be)变成了今天的“做什么”(to do)。由于这一改变，知识出现了两种新含义：

(1) 知识变成一种资源和有用的东西；

(2) 知识从私有变成了公共财产。

在已经过去的一百年里，知识的应用经历了三次巨大的转变：

(1) 知识被应用于工具、工艺和产品，造成了工业革命；

(2) 知识被应用于劳动(doing)，带来了生产力革命；

(3) 知识被应用于知识自身，将形成正在发生的组织机构的变革和管理革命。^①

在这种新意义上，人们不可将知识看作是一种静止不变的东西。1973年前后，美国投向知识创造和人力资本的无形资本的份额超过了有形资本，如基础设施和设备、财产，自然资源等；1996年提出以知识为基础的经济，表明了知识在经济中的地位和作用的空前提升。这表明，我们应当将知识当作一种动态的流程来对待，因为它是“产生有效行动所需要的能力”。

2. 知识生产、获取和传播的机制被进一步认识

前述两点强调了知识的重要性和知识含义的转变，而关于知识如何获得机制并没有加以说明。知识必须独立地建构，它需要组织成员之间深入而艰辛地相互作用和相互影响，需要人与人之间的互动。日本学者野中郁次郎和竹内广隆在他们所著的《创造知识的公司》一书中指出：

“知识是新的竞争资源这一认识如闪电一样袭击了西方。但是，所有这些谈论知识重要性的言论——关于公司和国家的——对我们理解知识是如何得以创造出来的没有多大帮助。尽管企业和社会的主要观察家都关注知识，但他们当中没有一个人真正探讨过知识创造的机制和过程。”^②

在我们所理解的知识中，有一大部分是“隐含知识”(tacit knowledge)。隐含知识是高度专有的，难以表达和规范化，也就难以传播，也难与他人共享。它具有主观性和直观性的特点。它植根于个体的行动与经验中，植根于个体所拥有的思想、价值观和情感之中。隐含知识的认识内容反映着我们对现实的映象(即：是什么)和我们对未来的憧憬与价值观。为了在组织内部传播和共享隐含知识，就必须将其转化成每个人都能理解的文字或数字，编码化成为明晰知识(explicit knowledge)。正是在这种转化过程中，群体知识便创造出来了。^③

所以知识必须在人与人之间的学习互动中才能产生。

① 彼得·F. 德鲁克，《从资本主义到知识社会》，载[美]达尔·尼夫主编《知识经济》，珠海出版社，1998年，第35—61页。

② [日]野中郁次郎，竹内广隆著，《创造知识的公司》科技部国际合作司编，1999年，第3—4页。

③ 同2第4页。

3. 知识创造与传播的关键是学习

我们已经了解到,知识的创造与传播、知识的转化必须通过人与人之间的相互作用来实现。而人与人之间的相互作用,就是一个组织学习的过程。学习,不只是为了适应和生存,更重要的是为了开拓创新。学习促使创新的速度和力度不断增长。通过学习,我们重新创造自我;通过学习,我们能够做到从前所未能做到的事情,重新认识这个世界及我们跟它的关系,提高自我价值以及扩展到创造未来的能力。组织学习是切合人性更高层的需要,是让人们追求更具创造力的生命。

组织学习必须强调学习能力的提升,特别是人际关系的品质,深度会谈,对相互依存共同理解、建立共同愿望等以利于团队和组织的学习。知识的扩散与知识的生成一样很少通过正式的报告和资料库扩散,它同样是一种学习的过程。重点是系统思考和对话。通过思想碰撞产生火花;通过碰撞,加深理解,付诸行动。从这个意义上说,学习,尤其是组织学习,是一项重要的系统工程。

4. 破除还原论,确立系统整体观。

人类的无数实践表明,需要破除还原论,建立系统整体观。而这项任务的完成特别有赖于学习,这也是学习工程系统的任务。在这里,有必要说一说还原论。

还原论主张“消除复杂性并把复杂性约化为某个隐藏着的世界简单性”的原则,它坚持任何事物都是用对客体的微观解剖来发现。阿尔文·托夫勒(Alvin Toffler)称之为“拆零”,即把问题分解成尽可能小的部分,“我们不仅习惯于把问题划分成许多细部,我们还常常用一种有用的技法把这些细部的每一个从其周围环境中孤立出来”。这种“拆零”的过程最突出的,恰如圣吉所说,“自幼我们就被教导把问题加以分解,把世界拆成片段来理解”,而这种拆分首先是从区分“自我”与“环境”开始的。“这样的区分也演变成分割与孤立。农业革命和后来的工业革命加深了专业化的程度、加深了社会的分化,更加深了人类思想的割裂。到后来,我们不仅自处于自然,而且认为有权主宰自然……事实上,与现代管理系统有关的每一件事,都根源于这种分割的思想上……”这种“分割思想”的根源就是还原论。还原论在笛卡儿的哲学中得到了充分的发展。“笛卡儿把宇宙视为机械,此系统由相互分割的客体构成而这些客体又可以还原为基本的物质构件,构件的性质和相互作用彻底地决定着一切自然现象。笛卡儿的自然观还被引申用来解释生命机体,生命机体也被视为由相互分割的部件构成的一部机器。这种机械论的观念现在仍然是我们大多数科学的基础,并对我们生活的各个方面继续发挥着极大的影响。它导致了学术界和政府部门支离分割,自然环境与社会被分割为许多部分,兴趣不同的小组分别征服、开发其中之一。还原论既是一种本体论又是一种方法论,它以构成论为基础,相信高一层次的东西是由下一层次的东西构成。所以它相信自然界的每一样东西,包括生命机体和人类行为,最终都可以用化学和物理学的术语来解释。“最赤裸裸的还原论形式认为,除了物理定律,基本上没有别的东西了,而这一论点引起了没完没了的争论。更复杂的东西能够用附属其简单的东西的概

念来解释。这曾经是数百年来科学中的一个不言明的假定,简单地说,还原论把事物分成各细部去找出它们是由什么组成的,并考察这些孤立的细部:……作为一种研究策略,还原论曾极富有成效。无可否认,为了理解整体,理解部分是必要的,但却不是充分的。”阿瑟·柯斯特(Arthur Koestler)进一步指出:“还原论的看法否定在盲目的力量的相互作用中有价值观、意义和目的的地位,因而这种看法将阴影投到了科学的界限之外,影响到我们整个文化甚至政治的气候。”随着科学研究的进展,经济社会的发展,还原论的观念已在各个领域受到了严重的挑战。

破除根深蒂固的还原论就必须借助学习工程系统的力量。

5. 文化是关键

学习要求建立一套组织成员共享的信念系统。尊重个人的创造性与价值观;建立学习和创新的氛围(milieu of innovation);鼓励冒险和容忍失败;创立团结合作、和谐一致(synergistic)的人际关系。

组织文化也需要强调个人品格以人为本,以诚信为本。美国培基教育学院品格训练中心主任,美国瑞精公司总裁何霆翱先生在谈到“品格第一”时说到,“影响公司最大的阻力不在于产品质量差和生产能力低,而在于这些现象背后的深层问题,即公司员工的品质障碍,公司员工的不满、不忠和不负责任的工作态度。”从这个意义上说,提高组织成员和公司员工的素质同样是学习型组织必须重视的一项工作,并为组织学习扫清心理障碍。

2003年《天下》杂志1月1日刊登记者对前IBM首席执行官郭士纳的一篇专访,其中说到,1990年初,IBM差点寿终正寝,濒临破产,郭士纳这位“卖饼干”的老板使IBM起死回生,他在谈到原因时说:“IBM能够起死回生靠的就是员工们的拼搏、专业、愿意变革、才能与勇气。”他说,“如果要我选出最关键的一个(成功的因素)甚至比重要决策、重要变革,投资并购更具决定性的因素就是改变IBM的企业文化。”他认为企业文化是企业赛局本身。组织学习的一项根本目标就是要创建良好的组织文化。组织文化“是由组织成员所共享的信息和知识构成的”。^①其中,价值、信念、意义、承诺等等人为因素起重要作用。每一个成功的公司都有自己独特的企业文化。这种文化确定了一个公司的思维方式和行为方式。公司如此,其他组织也如此。学习工程系统首先是从系统的观念出发,认识理解阻碍学习的智障,认识系统观念对学习工程的决定性意义,使学习有一个正确的导向,在时代变革中发挥基础性作用。

9.3 学习工程系统的概念框架

9.3.1 学习工程系统的学习是指组织学习

组织学习是一项系统工程,它涉及组织的方方面面,其内容亦十分繁多。从不

① 野中郁次郎、竹内广隆著,《创造知识的公司》,1999年,第27—28页。

同角度来看,可将组织学习划分为不同类型:从学习活动来看,哈佛大学教授、著名组织学习专家大卫·加尔文(1933)把组织学习活动归纳为五种类型,即系统地解决问题、试验、从过去经验中学习,向他人学习以及在组织内传递知识;从知识流程来看,组织学习包括获取知识、传播知识,还包括解释、赋义、记忆储存与使用等环节;从学习深度上讲,组织学习包括从局部调整到彻底改革之间各种类型——小到在生产工艺上的一点改进,大到进行战略调整、过程重组、组织变革,都是组织学习的结果与表现;从学习的渠道方面来看,可将组织学习分为内部学习与外部学习;从行动中学习与从过去经历中学习;直接学习与间接学习等;从学习范围来看,组织学习包括个体学习、团队学习、组织学习、联盟学习等不同层次。^①

关于组织学习的定义也是多种多样,这里列举以下几种:

- 组织学习指通过更好地获取知识,增进理解而改善行为的过程;
- 组织学习是通过采取有效的行动而提高组织能力的过程;
- 一个组织能学习是指通过处理信息,使组织的潜在行为范围得以扩展;
- 组织学习是探测并修正错误的过程;
- 组织学习是了解组织与环境之间的行为与结果关系的过程;
- 组织学习是指从历史中汲取经验,形成惯例用以指导行为的过程;
- 组织学习通过共享观念,知识和心智模式而进行,并建立在过去的知识与经验(也就是组织记忆)的基础之上。^②

毫无疑问,这里的组织学习也包括虚拟网络的组织学习。

组织学习的基本涵义是指各种各样的实践和原则,它们能使一个组织不断地探索新的方向,提升组织的创造能力。

9.3.2 学习工程系统的概念框架^③

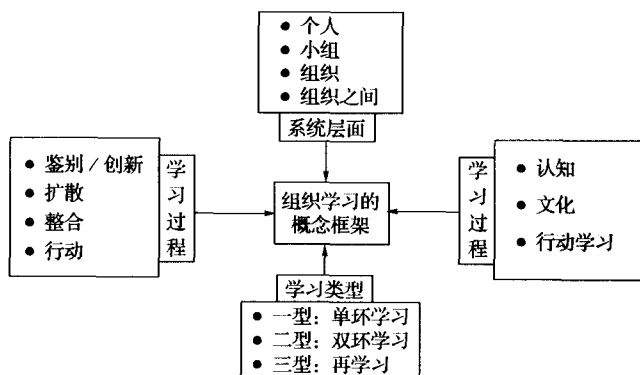


图 9.1

① 丘昭良,学习型组织理论与实践发展述评,载《首届界学习型组织理论前沿与应用趋势研讨会》,2004年11月13—14日,北京,第9—10页。

② [英]经济学家情报社,ETU,《未来组织设计》,新华出版社,第201页。

③ 同1,第14页。

这个框架(如图 9.1)表明,组织学习是一个系统工程,这里我们重点谈三个问题,即学习的基础结构、学习方法与组织学习的集成模型。

1. 学习基础结构(learning infrastructure)

学习基础结构类似于信息基础结构(information infrastructure)。任何一项工程都必须有其自身特具的基础结构。信息高速公路或信息网络就是信息基础结构。^①

学习工程也有自己的基础结构,我们称其为学习基础结构。不过组织学习的兴起时间不长,基础结构建设还刚刚开始。我们这里只能列举一个案例,即荷尔曼·米勒公司的学习基础结构。这是美国密歇根西兰岛的一家从事家具设计和制造的公司。它被人们称为“学习者成长的地方”。它的学习结构包括以下部分:

(1) 公司学习小组:由 14 位负责公司战略的最高级官员组成。

(2) 学习教练的网络工作:24 位教练,从各部门的最高级长官中挑选出来的。他们负责在公司战略上提问,鉴别战略的学习需要,学习五项修炼(即圣洁的五项修炼:自我超越,改善心智模式,建立共同愿景,团队学习和系统思考)并传授给其他人。学习教练接受 20 天的脱产学习技术培训。

(3) 学习发展小组:设计新的学习经历——反映个人能够学习的各种环境(如在职监测,以电脑为基础的自我推进式学习;学习班的要求等等)。

(4) 战略小组:由学习副总裁领导,包括学习发展专家和教练网络小组,负责监督和支持整个公司学习的战略进展。每月与公司总裁会面一次。

这一学习基础结构的建立,以达到以下几个目标:

- ① 把学习作为一项战略;
- ② 为学习制定计划;
- ③ 学习如何学习并分享知识;
- ④ 推进主动学习并转变学习态度;
- ⑤ 将基础结构当作一个转变主持系统使用。

但这一学习工程最后并没有取得预期的效果。^②看来学习基础结构的创建还需要有一个漫长的探索过程。

2. 学习方法

学习方法有单环学习、双环学习和三环学习。这里只介绍单环与双环学习。如图 9.2 所示:

① 金吾伦著,《塑造未来——信息高速公路通向新社会》,武汉出版社,1998 年,第 56—58 页。

② [英]经济学家情况报社等著,《未来组织设计》,新华出版社,2000 年,第 232—234 页。

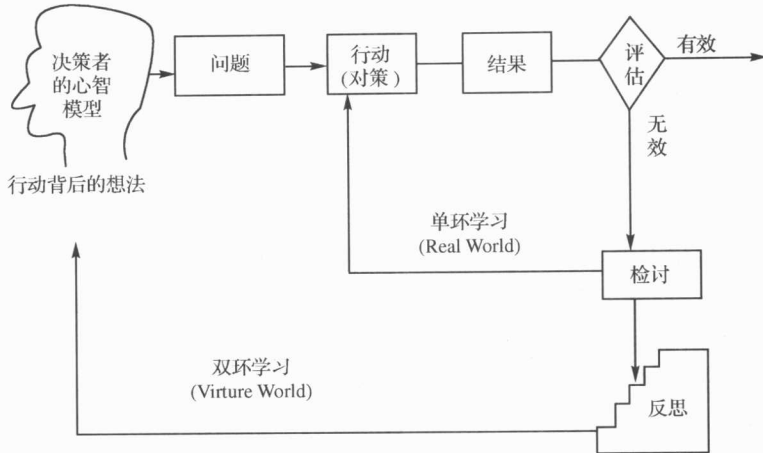


图 9.2

学习方法的应用与企业创新有直接关系。单环学习、双环学习和三环学习直接影响到企业创新。OECD 关于《技术、生产和创造就业》的报告中指出，“创新企业不是无止境扩大生产的高手，而是一个能够抓住技术和市场机遇，创造性地扩展生产领域的有效的学习组织。”企业创新能力的高低与企业组织学习具有正相关性，如图 9.3 所示：

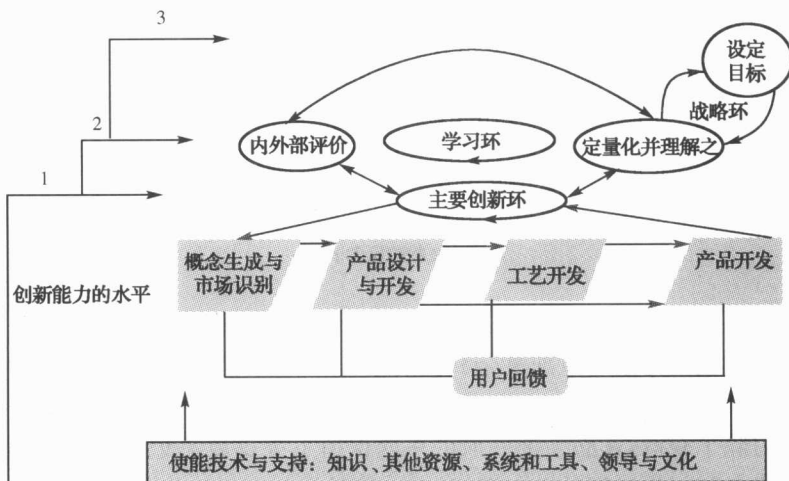


图 9.3

图中 ● 第零层——静态企业，无创新或很少创新，它们在目前的环境中有稳定的市场定位；

● 第一层——创新企业，在稳定的竞争和技术环境中有管理连续创新过程的能力；

● 第二层——学习型企业，有适应变化环境的能力；

● 第三层——自再生型企业,有运用其核心技术在不同的市场环境中自我再定位或创造新市场的能力。

这可以表达为:

● 停滞型公司:公司不加入系统创新,但就现有条件而言,可以有稳定的市场位置。

● 创新型公司:公司进行一系列过程,包括生产方案和辨别市场、产品和工艺的开发、生产、市场引入和反馈等。它能产生创新并有效地服务于已知市场。

● 学习型公司:公司能适应变化的环境,并能质疑现有规范和标准,寻求新的途径,从而进行所谓的双环路学习。

● 自生型公司:公司有能力重新进行战略定位,它能质疑、改变和重塑其所在的行业,并能学会如何学习(三环路学习)以及通过先进的学习和适应来改造自身。

3. 组织学习集成模型

组织学习集成模型是基于考夫曼(Kofman)学习循环的个体学习(OADI)。OADI 循环模型即是“观察(Observe)—评估(Assess)—设计(Design)—执行(Implement)”循环。观察和评估阶段的学习是操作性学习,而从设计到执行阶段的学习是概念性学习,如下图 9.4 所示:

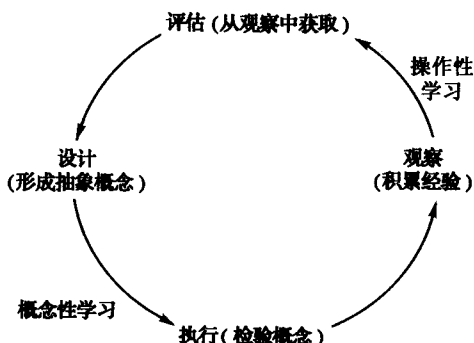


图 9.4 个体学习的 OADI 循环

组织学习比个体学习更加复杂和具有动态性,组织学习不等于个体学习的简单加和,组织学习必须建立在个体学习之上。这个模型还不完备,它忽略了记忆的作用。学习除了获取,还必须把获取的东西保留下来这就是记忆。所以必须考虑影响我们思考和行为过程的动态记忆结构,使学习与记忆连接起来,这就引入了个体学习的精神模型(mental model)从而得出新循环。

将个体学习与组织学习加以适当的集成,便得到 OADI—SMM 模型,称为“观察、评估、设计、执行—共享精神模型”,丹尼尔·金(Daniel H. Kim)得出了组织学习集成模型:OADI—SMM 模型,指导人们寻找组织学习的工具。图 9.5 表示个体学习循环通过它们对组织共享的精神作用来影响组织学习。

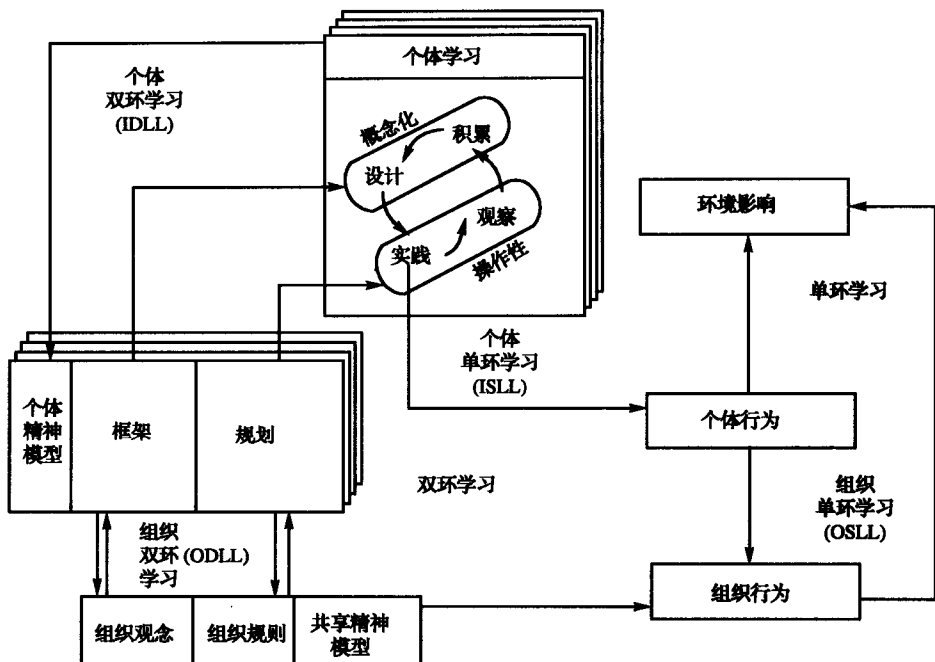


图 9.5

丹尼尔·金承认,这个模型还是初步的。

9.4 学习工程系统的圣吉模式

圣吉提出的“学习型组织”是学习工程系统的典型模式。它的核心是组织学习。组织如何学习呢?这正是圣吉所要解决的重点问题。

学习首先要有动力与目标,在此基础上才能谈机理与方法。

9.4.1 三项核心能力

“学习型组织”的关键是组织学习。组织学习的目标是“获得创造未来的能力”。创造未来的核心能力主要有三项,即三项能力:

(1)看清复杂的能力:了解复杂的系统结构、看清彼此的互动关系、找出隐藏其内的高杠杆点,进一步学习从整体观点改进组织的效能;这就是系统思考的能力。

(2)滋育热望的能力:培育员工找到工作的价值与意义,结合组织的愿望,激发员工的潜能,建立共同体的良好环境,让每个人活出生命的意义;

(3)开创性交谈的能力:开展困难议题的讨论技巧,在不确定性中找到确定的解决方案,从深度会谈的气氛中,改变组织的文化;

这三项核心能力的关系可形象地用图 9.6 来表达,如下:

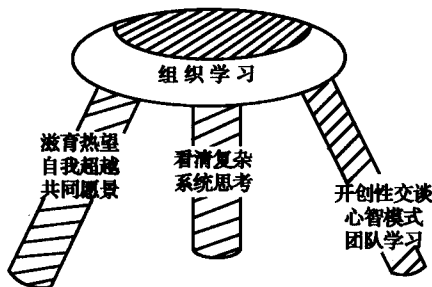


图 9.6

组织学习的目的就是要创造未来的能力,而未来的能力重要的是创新能力。

9.4.2 五项核心技术

为了达到增强“创造未来”的三项核心能力需要巧用五项核心技术。

五项核心技术就是彼得·圣吉提出的“五项修炼”。

(1) 系统思维(System Thinking)

凡是有机体都是系统,如生命系统,系统强调整体性,不能分割,一辆自行车可以拆卸、组装,身体就不能组装,系统整体大于部分之和。城市经济系统、生态系统等等,对这些系统进行研究,从而形成一种方法叫做系统思维,是一种思维方式。

系统思维是思考、描述与理解系统诸要素之间互相关系的方式,帮助我们看清如何才能有效地改变系统。系统思维是五项技术中的关键技术,它可整合其他四项技术,发挥整体的综合效能(Synergy),使原本各不相干的部分结合起来,产生完美的整体动态式的搭配,协助我们找到问题的根本解决之道,而不是头痛医头,脚痛医脚。

在这里必须避免“随意分割”、“局限思维”、“归咎于外”等等的非系统思维方式,要掌握结构层次的洞察力。因为结构影响行为,改变结构,就会产生不同的行为变化形态。圣吉说:真正具有创造性的学习,……需要一个结构性或系统性的思维架构,也就是找出行为背后所有结构性原因的能力。

这正是圣吉在书中讲的啤酒游戏。圣吉用啤酒游戏来说明系统思维的重要性,告诉我们要重视系统的结构,防止蝴蝶效应。啤酒游戏用来演练一个生产和营销啤酒的系统。游戏中主要有三个角色,分别是零售商,批发商和制造商。游戏中显示出缺乏系统思维和运作,就会导致啤酒产销系统产生危机。首先是大量缺货,整个系统的订单却不断增加,库存逐渐枯竭,欠货不断增加。随后好不容易达到订货量,大批发货,但新收到的定购数量开始骤降。到实验结束之前,几乎全部参加游戏的人都坐看他们无法降低的庞大库存;制造商库存已有好几百箱,而批发商只有每周 8 至 10 箱订单,导致大量啤酒滞销的危机。啤酒游戏中揭示出一个现

象——需求有一小幅上扬,导致库存过度增加,然后引起滞销和不景气^①。这相当于混沌理论中的“蝴蝶效应”——墨西哥湾上空蝴蝶的翅膀一煽动,将会导致加利福尼亚一场大风暴。蝴蝶效应意在表明小原因会导致大结果。

(2) 改善心智模式(Improving Mental Models)

心智模式我们通常可以解释为“精神定向”或“思维定势”。心智模式是根深蒂固于心中的思维方式,影响我们如何了解这个世界,以及采取行动背后的假设、成见,我们提高学习使自己的心灵之窗打开,向别人开放。把往昔照别人的镜子转向观照自己,通过学习发掘内心世界的图像,检测这些图像怎样影响我们的行为方式与决策并使这些图像有效地表达出来,并以开放的心灵容纳别人的想法。

首先是克服机械式的思维方式,更防止先入之见。中国古代《列子》的书上讲了一个很典型的疑人偷斧的故事,说到有人丢失了一把斧头,他怀疑是邻居家的孩子偷的,便暗中观察这孩子的行为,怎么看都觉得他的一举一动都像是偷他斧头的人,肯定错不了。后来他在自己家里找到了原以为丢失的斧头,知道是冤枉了邻居家的孩子,以后看到他时,就怎么看都不像会是偷他斧头的人了。这表明他的心智模式转变了。“情人眼里出西施”,实际上也是心智模式。一旦爱情破裂,就会反目成仇。中国还有许多有关心智模式的表达:“人之初,性本善”;“人之初,性本恶”等等。它们影响我们的世界观和行为方式。

(3) 自我超越(Personal Mastery)

自我超越是学习不断理清并加深个人的真正愿望,不断追求个人价值观的实现,使梦想变为现实;自我超越是个人学习的动力,是组织学习的基础;没有个人学习,组织学习就无从谈起。个人学习也有不同的学习态度,有的可能是被动学习;有的可能是书本知识的学习,不联系实际;一个人有了自我超越的心态和精神,就能敦促自己努力去实现内心深处最想实现的愿望,促使个人学习的意愿和能力不断提升。

自我超越要求提出新目标,高要求,然后全身心投入,不断创造条件去达到它。

学无止境,活到老,学到老。自我超越一定要确立一个奋斗目标,要为实现这个目标而活着,不达目的,誓不罢休;要克服学习中可能碰到的困难。合理安排好时间,要有人类进步作出自己贡献的愿望;“书山有路勤为径,学海无涯苦作舟。”学无止境。尤其是科学技术迅猛发展,只有百倍的努力,才能跟上时代的步伐。英国著名戏剧家萧伯纳说:“生命中真正的喜悦,源自当你为一个自己认为至高无上的目标,献上无限心力的时候,它是一种自然的、发自内心的强大力量;而不是狭隘地局限于一隅,终日埋怨世界未能给你快乐。”确立一个远大目标,不断追求,不断自我超越,才能使我们真正活出生命的意义。

(4) 建立共同愿景(Building Shared Vision)

^① [美]彼得·圣吉著,《第五项修炼》,上海三联书店,第29—45页。

建立共同愿景是将个人愿景整合为组织共同所具有的愿望,一个组织、一个企业必须能够使全体人员齐心协力为一个共同目标而奋斗。一个组织,如果没有共同的目标,共有的价值观和共同的使命,就不可能成大器,成就大事;这不是说,大家齐心,有一个共同目标,愿景就能成就大事,但如果没有共同目标与愿景就肯定成不了大事。

共同目标与愿景不应该是虚无缥缈的,而是要尽量切实可行的。最突出的一个例子是英荷皇家石油公司的“未来情景规划”(scenarios),使它从世界石油企业中的第七位成为数一数二的世界石油大王。

共同愿景能够培养组织成员主动而真诚为共同愿望的实现作奉献和投入,而非被动地遵从,有了衷心渴望实现的目标,大家会努力学习、追求卓越,不是他们被要求这样做,而是因为自己衷心想要这样做。

(5) 团队学习 (Team Learning)

有了共同目标和愿景,也就是大家有了初步的共识。但要真正化为行动,在实践中贯彻,还需要进一步沟通。这种沟通需要通过团队学习来达成。

团队学习提高群体沟通的效率,提高共同思考、共同创造的能力,让群体发展出超乎个人才华组合的伟大知识与智慧;这要求一个团队所有成员,摊出心中的想法,而进入真正一起思考,共同创造的能力,当团队真正学习的时候,不仅团队整体产生出出色的成果,个别成员成长的速度也比其他的学习方式为快。

为什么在许多组织中每个成员的智商都在 120 以上,而整体智商只有 62? 原因就是缺乏团队精神,中国有句老话:“一个和尚挑水吃,两个和尚抬水吃,三个和尚没水吃。”就是缺乏团队精神。

钱学森曾经说过,中国人的团队精神比不上日本人。他说一个中国人强于一个日本人;两个中国人与两个日本人势均力敌;三个日本人就强于三个中国人。这就说明中国人的团队精神远不如日本人。在经商、科研、体育运动方面有许多例子。我们要做的是,通过团队学习,使三个臭皮匠超过一个诸葛亮。

日本人在科技领域方面有许多创新,就是重视团队学习,发扬团队精神,群体创造知识。这方面的实例很多,通过团队成员一起讨论交流,以增强我们的团体精神。

9.4.3 五项核心技术的互动

五项核心技术是相互联系与相互作用的,其中,系统思考是关键。它要求我们实现三个转变:

(1) 从部分转到整体

“学习型组织”或“组织学习”强调的都是组织。组织是一个整体,一个系统。我们每个人都是整体和系统的一部分,我们必须把自己放到这个系统中去,例如非典事件,如果没有整体观点或系统观点来处理,我们就会失控,事变越来越严重。

有的人只考虑自己方便,反对隔离、或逃离,进而把病毒传染给别人,就是缺乏整体观念,没有系统的思想。企业是一个整体,市场变化是企业的环境,如果企业各部门从各自的利益出发,就会造成企业的分裂;地球生态环境也必须从整体考虑;一个国家的发展也必须考虑全球利益与全球价值。这就是系统思考。圣吉在《第五项修炼》中说,“系统思考的精义在于精神的转换”,而“心灵的转换”就是我们通常所说的“思维方式的变革”。“心灵的转换”或“思维方式的变革”重点是两条:^①

①观察环状因果的互动关系,而不是线段式的因果关系;

②观察一连串的变化过程,而非片断。这就是从部分转到整体的转变。关于这方面的详细内容有兴趣的读者可读我的《生成哲学》一书,对此我有详细的论述。^②

(2) 从被动转为主动

所谓从被动转为主动就是从把人们看作是无助的反应者,转变为把他们看作是改变现实的主动参与者。我们作为企业内的成员尤其是工程技术人员变被动为主动更加重要。企业的技术创新不都由经理由企业主管去实施。许多新的技术构想常常由技术人员产生,有的可能导致突破性创新。在技术发展中充满着不确定性,提倡技术人员主动积极地参与创新,在当前有着特别重要的意义,学习也必须从被动学习转为主动学习。不是因为领导让学习就学习,而是因为要让自己的生活更充实、生命更有意义而主动地学习。

作家刘心武在《光明日报》(2003年5月28日)上发表一篇题为“步行街的心理空间”,其中谈到步行街是如何从被动转为主动的。“最早,步行街的出现仅仅是出于解除交通上出现的困局,禁止车辆通行,开放整个马路以供众多逛街的人们步行是一种被动的应变措施。后来,人们渐渐从被动到主动,注意把步行街布置得亮丽舒适,步行街的功能得以扩展。”刘心武列举了王府井作为例子。我们的学习也一样,应从适应形势所迫的被动学习转变为主动学习。

(3) 从重视过去转为创造未来

从重视过去到重视未来,这是人们心灵转换或思维方式转变的一个非常重要的方面。我们必需使我们的工作方向与目标投向未来而不是老是回顾过去。以前总认为过去的东西是宝贵的,我们都能搬来用。实际上,环境变了,世界改变了,过去的东西已经过去了,不适用于今天了。以前常有人说:“知道你的过去,就知道你的现在,知道你的现在,就知道你的未来。”这是一种历史决定论的观念,应当抛弃。未来不在过去的延长线上,未来是要我们去创造出来的。微软公司总裁比尔·盖茨写了《未来之路》,不是沉湎于过去,而是不倦地追求美好的未来;迎战未来。美国麻省理工学院教授,计算机科学实验室负责人迈克尔·德图佐斯写了《未来的社会》,让人畅想未来,知道将来是什么?

① [美]彼得·圣吉著,《第五项修炼》,上海三联书店,第79页。

② 金吾伦著,《生成哲学》,河北大学出版社,2000年。

比尔·盖茨	《未来之路》
迈克尔·德图佐斯	《未来社会》
彼得·德鲁克等	《未来的管理》
莱斯特·瑟罗	《资本主义的未来》
阿尔文·托夫勒	《未来的战争》

从未来看今天已经形成一种重要的战略方法,叫《未来情境计划》(scenario planning),在组织学习中,就要建立共同的愿景,大家为实现这种愿景而共同奋斗。只有这样,我们才能与时俱进。

五项技术核心的互动关系可以用图 9.7 来表示

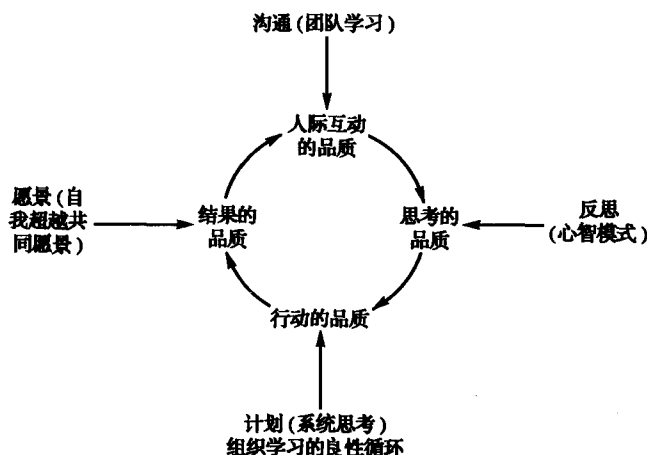


图 9.7

硅谷的成功是五项核心技术互动而促进企业成长的好典型。有人把硅谷的企业家分成 4 种类型：①眼光长远型企业家(远见者)；②收购型企业家；③转型式企业家；④持续型企业家。

第一类企业家是远见型企业家,对他们来说,金钱与权利不是主要的,主要的是创建企业的过程与整个世界共享新的远景,创造更美好的未来;第二类企业家是收购型企业家,他们将别人的构想吸收入自己公司宏伟的远景规划中,使别人的构想融入到一个完整的而又不断演化的远景之中。例如思科系统公司的约翰·钱伯斯就是这种类型企业家的典范。他们有三个特征：①有能力表达高瞻远瞩的远景以适应每次收购；②将不同类型公司整合、集成为一个成功企业的能力；③维持一个有效管理团队的能力。第三类企业家是转型式企业家以及第四类企业家持续创新型企业家。^① 所有这些企业家都是创造未来的企业家,也是实践五项修炼使五项

^① 李钟文,硅谷企业精神的四种类型,载《硅谷优势》,第 123—124 页。

核心技术互动的企业家。

9.4.4 五项核心技术的工程学基础

学习工程系统的许多重要概念直接来源于工程系统。拿彼得·圣吉的组织学习理论就有以下几方面的工程学基础：

(1)他将他在麻省理工学院读博士的导师弗雷斯特的系统动力学应用于组织学习并成为组织学习的核心概念。系统动力学又是来源于维纳为创始人的控制论。所以圣吉的组织学习有着深远的工程学的影响。书名《第五项修炼》突出“系统思考”的重要性也是这种影响的标记之一。系统思考是：“看见整体”的一项修炼。它是一个架构，能让我们看见相互关联而非单一的事件，看见渐渐变化的形态而非瞬间即逝的一幕。它是一套蕴含极广的原理，是从20世纪开始到现在不断精炼的成果，跨越繁多的不同领域，如自然科学、社会科学、工程、管理等。它也是一套特定的工具与技术，出自两个来源：控制论(cybernetics)的“回馈”(feedback)概念与“伺服机制”(servo-mechanism)工程理论(可溯至19世纪)。在过去30年之中，这些工具被用来了解企业、都市、区域、政治、生态，甚至生理系统。系统思考可以使我们敏锐觉知属于整体的微妙“搭配”，正是那份搭配的不同，使许多生命系统呈现他们自己特有的风貌。^①

(2)五项修炼是圣吉把学习过程比照为飞机从发明到创新的宏伟工程。他在《第五项修炼》一书的第一章开头谈到了这个类比：“在工程上，当一个构想从发明演变成创新，必定会经历各种配合技术聚合的阶段。这些关键技术往往都是在个别的范畴中单独发展出来，逐渐聚合相辅相成，才使得在实验室中被证明行得通的构想，成为实用的创新。”^②在谈的学习的五项核心技术时，他作了一个鲜明的对比：

“1903年12月，一个冷冽的清晨，

莱特兄弟于北卡罗莱纳州小鹰镇，试飞成功。

但又过了30年，才有第一架商业飞机DC-3的发明。

它融合了五项重要技术，形成一架成功的飞行器，使商业航空的美梦成真。

今天，“学习型组织”的核心修炼——

自我超越、改善心智模式、建立共同愿景、团体学习——

加上系统思考、也如同DC-3的五项技术、正逐渐聚合，

以开拓那一大片尚未被发掘的、个人与组织的成长空间。”^③

(3)学习是否有新的修炼？上面所说的DC-3型飞机导致空运商业化革命。但空运工业要到十几年以后，喷气引擎与雷达这两种技术被广泛使用之后，才成为一项主要的工业。喷气引擎和雷达孕育了飞机场、飞行员与机师，飞机制造厂，它

① [美]彼得·圣吉著，《第五项修炼——学习型组织的艺术与务实》，上海三联书店，第74页。

② 同上，第5页。

③ 同上，第163页。

们与商业航空公司组合而成了新兴产业基础结构;现代的空运工业就是建立在这个基础之上。学习工程系统也将如航空工程系统的发展那样,基础将会越来越扎实,技术将会得到不断的发展。

学习工程系统的工程学基础也将在不断发展中得到夯实。

9.5 学习工程系统的技术支撑

9.5.1 学习过程

学习工程系统把学习过程作为中心环节来处理。

(1)克服路径依赖(Path-dependant)或“惯例”(routines)

学习必须好奇和开放的心态。以为自己的组织或企业一切都好,就必然阻碍学习。学习需要新知识和新方法,路径依赖和惯例就难以为新视角或创造性的新思想留下足够空间。为了确保组织学习能够发生,学习者们首先需要更好地理解学习过程,建立必要的促成因素和支撑环境,以便新思想能突破学习过程中常见的各种偏见和能力缺陷的阻碍,让新思想不断突现出来,才能抗击根深蒂固的惯例束缚,开始主动促成学习。

(2)明确学习计划

学习过程通常包含三个阶段:①获取信息;②解释信息;③应用信息,即把信息应用于任务、活动和新行为。

(3)消除学习能力缺陷

学习能力缺陷在学习的三个阶段都存在。获取信息阶段,主要能力缺陷是盲点,过滤和缺乏信息共享;解释信息阶段,由于学习者各有自己的认知模式,影响对各种信息的理解和解释,会导致有严重偏差的解释;应用信息阶段,在解释基础上,采取行动时表现出能力不足与惰性,导致行动不力。

(4)创建支持学习的环境

为使学习蓬勃发展,需要四个条件:

- ①对差异的认知和接受;
- ②定时提供不加修饰的反馈;
- ③采用新的思考方式以及未被探索的信息资源;
- ④将错误、失误和偶尔的失败视为改进的代价而接受它们。^①

这里将戴维·A·加尔文学习过程中通常所遇到的“学习的障碍与促进因素”一表摘录如下,见表 9.1:

① [美]戴维·A·加尔文著,邱昭良译,《学习型组织行动纲领》,机械工业出版社,2004年,第28页。

表 9.1 学习的障碍和促进原因

学习的阶段	学习的障碍	学习的促进原因	工具和技术
获取	依靠有限的传统数据来源难以从噪声中分离出信号数据的收集的偏差、过滤可用数据难以共享	贡献者和数据具有广泛的基础 分享不同视角和观点的过程 愿意接受矛盾、意料之外的矛盾	头脑风暴、产生新想法、激发创新性思想的论坛 定期的标杆瞄准和同行比较 快速反馈和市场情报
解释	有偏差的、不正确的估计 不恰当的因果分析 判断时的过度自信	一种能够检验流行观点的冲突和辩论过程 及时提供准确的反馈	试探、挑战性的审查过程 辩证式质询，“魔鬼的辩护士”过程 审计小组
应用	不愿意改变行为 缺少练习新技能的时间 害怕失败	鼓励新方法的激情 为学习创造空间 心理安全的感觉	将提升、工薪和地位同新创意与技能的开发相联系。添加新任务的同时消除不必要的、过时的活动。接受由于系统的错误、未预期的事件以及缺乏经验带来的失误 在主动汇报错误时给予部分豁免权

9.5.2 群体创造知识的五个阶段

学习是为了创造新知识。新知识的创造是一个群体学习过程。按照日本研究家野中郁次郎的研究,群体知识的创造过程包括五个阶段,即:

- (1)分享隐含知识;
- (2)建立概念;
- (3)检验概念;
- (4)建立原始模型;
- (5)交流共享知识。

这五个阶段从个人拥有的隐含知识开始,通过组织学习,也即是工程操作,最后成为群体共享知识,也就是使分散化的、个人所拥有的隐含知识(tacit knowledge)转化为组织化、结构化和体制化的群体知识。这是一种动态的、螺旋式的发展过程。^①

^① [日]野中次郎、竹内广隆著,《创造知识的公司》,科学技术部国际合作司,1999年,第58—66页。

9.5.3 系统基模

系统基模是学习型组织强调“系统思考”中引入学习的最关键的一个概念工具和实用技能。“系统思考”是一个概念框架,它集知识与工具为一体。^①按照彼得·圣吉的观点,在“系统思考这门刚发展出来的领域中,最重要的,最有用的洞察力,是能看出一再重复发生的结构型态。‘系统基模’(系统的基础模型)是学习如何看见个人与组织生活中结构的关键所在。……熟悉系统基模是组织开始将系统观点应用于实务的第一步。……对学习型组织而言,只有当系统基模开始成为管理者将如何产生一连串的结果,尤其是我们想要创造的结果。”^②

现在已找出大约 12 个系统基模。所有的系统基模都是由增强环路,调节环路与时间滞延等几个关键环节组成。其中用得较多的是“成长上限”的系统基模,如图 9.8 所示:(图中箭头“同”指增强环路,“反”是调节环路)。^③

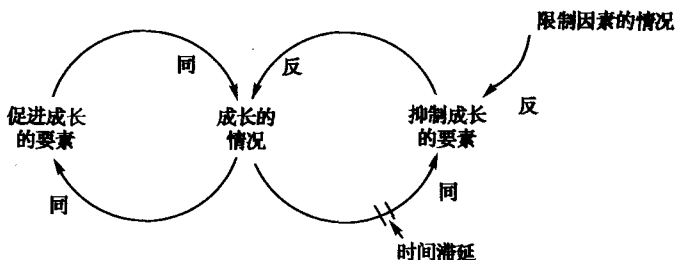


图 9.8

9.5.4 学习实验室

学习实验室是学习工程系统的一个重要组成部分。

运用电脑在微观世界进行模拟试验是团体从试验中学习的一种重要工具和方法。通过电脑使复杂的团体互动整合成为可能。这些以电脑为基础的微观世界可以让小组反思、揭露检验和改善他们的愿景的策略和政策。

有三种类型的微观世界：

“微观世界 1”：未来的学习,其中包括,①显现内隐的假设;②发现策略的内在矛盾;③洞见未来的窗户。

“微观世界 2”：看出隐藏的策略性机会。

“微观世界 3”：发现尚未运用的杠杆点。

微观世界是组织学习通过实验用以自创未来的主要工具。实验主要有两种类

① 同—,第 5 页。

② [美]彼得·圣吉著,《第五项修炼——学习型组织的艺术与实务》,上海三联书店,1998 年,第 100—102 页。

③ 同 3,第 103—110 页。

型:探索性实验和假设检验性实验,都可在微观世界中进行,其目的是要提供一个与真实工作环境相似的学习培训机会,演练“组织学习”的工具与技能。

9.5.5 其他工具

(1)推断的阶梯

这是哈佛大学教授、组织学习最早的提出者之一的克里斯·阿吉里斯创造的一种对话技巧,它让人们意识到并且思考会导致错误观点的仓促判断和心智模式。爬楼梯的比喻,表现了人们的意识从一个匆促的观察转到一种确定的结论会有多快。见图 9.9。

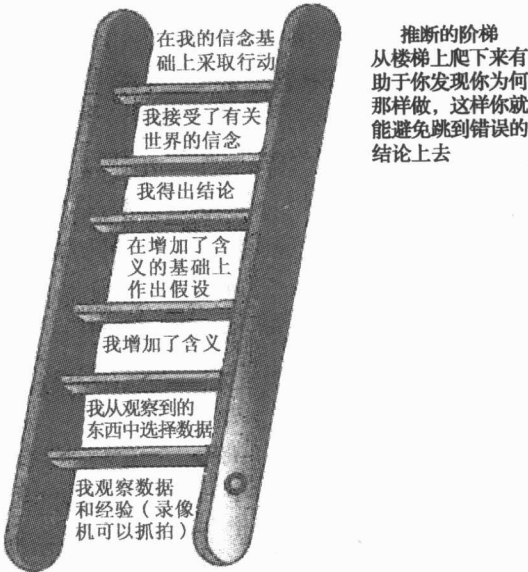


图 9.9

例如,一个人看到张三开会迟到了,马上会推断张三不可靠。没有思考,第一印象(甚至是错的)会持续下去,造成对人的误判。这个梯子也有助于人们解释得到一个特定结论的推理步骤。

(2)左手列,右手列

用来鉴别一个人真正的想到和实际所说的。如图示:左手列为某人心中所想的,右手列则是在对话中所表达的。

左手列	右手列	利用这样的工具可检验心智模式中的问题,
他所想的:	他所说的:	发现组织学习互动中深度对话的差距
“我不希望张	“我不认为张	
三得到提升”	三的水平有多高”	

9.6 学习工程系统的组织管理

学习工程系统不同于一般的物质工程系统,如土木工程系统、机械工程系统、化学工程系统等等,学习工程系统的要素是人本身,内容是知识及其应用。因此,它的组织管理内容也就与物质工程系统有很大的不同,它更多地涉及人的精神层面,而主要不在物质层面上。

就教育部门的學習工程系统而言,它的组织结构是一个等级较严密的组织系统,从中央政府的教育部门到省市的教育厅再到各县市的教育局,无论大学、中学、小学都是层层受高一级的教育行政部门管辖,学校教学的目标、内容、流程、进度、考试、标准都有严格的规程和制度安排,学校严格受外部控制,很少有自主权。就这个意义上看,学校系统的组织是一种他组织,不是自组织系统。就学校内部的组织系统而言,一般都是校长、党委书记领导,下面设系(目前大多是二级学院),系下设年级与班级,同样是一个层级结构,对学生而言,同样是一种他组织,自主性少,也谈不上是自组织系统。

由此情况而言,学生很少决定自己的学习进程,一切皆由外部严格控制和管理。实际上,学校类似于一家工厂,学生类似于工厂里生产的产品。这类似于一种机械系统。这种机械系统思考的中心思想是控制,由高层一直控制到低层,一直到学生个人。学校并没有被看作是一个充满生命的系统,看不出学校是一座花园,教师是园丁,学生是花朵。所以,现在教育的学习工程系统还基本上没有超越机械工程系统的巢臼,这种状况是世界性的,不是只在中国有。

20世纪90年代以来人们正在探索新的教学模式。新模式的思想基础是把学校真正看作是一个大花园,当作是一个充满生命的系统。一个园丁只能提供一个适宜的环境,让植物自然地在花园中成长,开花、结果。就是说,应把学校真正当作是一个自组织系统。这样的学习已经出现。台湾中山大学企管系副教授兼系统思考组织学习研究室负责人在他与彼得·圣吉等合著的《学习型学校》(台湾天下文化出版社出版)的导读中解释的“瑟谷学校”(Sudbury Valley School)就是一种新型学校,是自组织系统为主导的学校。

“瑟谷收的是四岁到十六岁的孩子,毕业后依照孩子自己的兴趣选择出路。有些孩子毕业后想要进大学,结果是他们几乎统统上了心目中的第一志愿。这样的成效实在惊人。更令人惊讶的是,他们全都没有成绩单、没有任何在学证明、没有必修标准课程,也没有推荐信。但是他们拥有内在的力量、他们了解自己、他们有决心与毅力,也有从真正的学习中所产生的行动智慧。根据 HNK 的追踪报道:瑟谷的孩子毕业后都在做他们自己真正想要做的事情,而且做得很好。每一年都有问题学生转到瑟谷:被别人放弃的孩子、偷车贼、惹麻烦的孩子、吸毒的孩子、酗酒的孩子、怕上学的孩子、各种具有反社会性格的孩子。在瑟谷他们得到自由,以及

跟着自由而来的责任——为自己的人生负责的重任。很快地,这些问题学生就开始转变,表现愈来愈好,变得和其他瑟谷的孩子一样,轻松而自在,不严肃、不紧张、不焦虑。每个人都关心别人——自己的朋友、别的学生、老师、家长、访客。不论是谁,有事大家都会帮忙。他们关心学校,希望学校生存得更好,帮助学校解决困难”。

就组织学习而言,自彼得·圣吉的《第五项修炼——学习型组织的艺术与实务》一书出版以来,以企业为主导的组织学习在世界各地兴起,学习工程系统有了许多新的进展。在中国基本上是政府倡导,企业自主地组织学习。从大环境而言,它以自组织方式进行,可以认为是自组织系统。其动力与价值目标是,企业经营者充分认识到,在知识经济与高科技时代,知识被视为组织的关键资产,并以知识为杠杆,为企业与组织营造持久的竞争优势。正如英荷壳牌公司的德吉斯(Arie De Geus)所说,“唯一持久的竞争优势,或许是具备比你的竞争对手学习得更多的能力。”

学习型组织所倡导的组织学习,是一种自组织系统为主导的学习系统工程,它的一个重要方面就是摆脱传统权威的控制和线性思维方式,在竞争中学习,从而确立一套全新的组织模式。传统的管理、组织与控制正在被“愿意、价值观与心智模式”的新信条所取代。

领导的角色在这种学习系统中也有着重大的转变。领导不再是发号施令者,领导人的角色因此要作彻底的改变。组织学习领导人的职责,不只是领导下属学习知识并取得信息,关键的是领导人本身与下属共同修炼其行为,改善心智模式,提升创新能力。“领导者应该勇往直前,有勇气、有能力、有信誉,能在不同程度上激起变革”。^①这就要求领导人更多地关心员工,尊重他们,聆听他们的意见,与他们进行交流沟通,“深度汇谈”、创造学习环境和文化以有利于组织学习。正如圣吉所指出的:“在学习型组织中,领导者是设计师、仆人和教师。他们负责建立一种组织,能够让其他人不断了解复杂性,厘清愿景和改善共同心智模式的能力,也就是领导者要对组织的学习负责。”^②

学习工程系统的领导者作为设计师的第一项要务是设计组织学习的蓝图,组织学习是一项系统工程。设计师要提出愿景,根据条件和环境转化为对组织有意义的策略。所以,领导者的设计工作包括设计组织的政策、策略和系统,并促成其发挥作用。学习型组织的领导者更重要的设计工作包括整合愿景、价值观、理念、系统思考,以及心智模式这些项目;更广泛地说,就是要整合所有的学习修炼,并使之获得综合效应。^③

① 彼得·圣吉,卡特里因·考弗著,“要团体领导或完全不要领导”载 Subir Chowdury 主编,高核等译,《21 世纪的管理》,云南大学出版社,2002 年,第 325 页。

② 彼得·圣吉著,《第五项修炼》,第 393 页。

③ 同 2,第 397 页。

领导者应该像小说家赫曼·贺斯(Herman Hesse)的名著《东行漫记》(Journey to the East)中所说的一位仆人叫列奥(Leo),他带领一批旅行者东行,有他服务左右,一路顺利。直到有一天他不见了,旅行团先是迷路,继而种种不幸发生。大家这才意识到原来一路走来,全靠的是他的指导和细心照料才能如此顺利。他才是真正的领导者。这正是“领导人是仆人”(The Servant as Leader)的含义所在。这故事意味着,领导者要有为共同愿景而献身的精神,不把自己看作是高居于组织之上的“英雄”,而是全力以赴,自己具有奉献精神;要关照全局,使他人产生奉献精神;谦恭地、诚心诚意地为理想而工作,以满足别人的需要为己任;不把个人的成败得失看得过重,重在提升集体的创造能力和适应环境变化的能力。当然不用说,领导者自己首先应该是一个积极的学习者。

领导者的首要责任是界定真实情况,他们能在四个层次上影响人们对真实情况的看法:(1)事件;(2)行为变化形态(趋势);(3)系统(整体)结构;(4)使命。学习型组织的领导者焦点集中在使命和结构上,并“教导”组织中的所有人都这样做。他们教的不只是如何形成愿景,而是如何促进每个人的学习,培养每个人能看清复杂性并对系统有深刻理解的能力。学习型组织的学习更重要的是组织学习。因为个人学习所得到的知识只是个人知识,而个人知识是分散的而且会随着他(或她)的离开而失去这种知识,只有当个人知识转化为政治的结构知识时,知识才能转化为组织的有效知识。

学习工程系统的建立需要有一群愿意全心全意为之而奋斗的人,更要有一群集“三位一体”(设计师、仆人和教师)的领导者。学习型组织的五项修炼既是“学习的修炼”,也是“领导的修炼”。精熟五项修炼的人,也将是学习型组织自然的领导人。在这里我们可以毫不讳言地说,中国企业的领导人要能扮演“三位一体”的新角色还将有一段长长的路程要走。首先应从传统体制模式中解脱出来,努力克服路径依赖(path-dependence),培植与创建学习型组织相适应的企业文化,逐步建立起真正“以人为本”的价值观。因为价值观是企业的灵魂。正如海尔总裁张瑞敏所说:“企业价值观如同一个人的灵魂,人若没有了灵魂就如同行尸走肉。”^①在圣吉那里,这种价值观主要体现在“共同愿景”和“心智模式”上,并且要从“工具性”工作观(工作为达到目的之手段),转变为“精神面”的工作观(寻求工作的“内在价值”)。为此就要从“五项修炼”入手,因为按圣吉所言,“精熟这几项‘修炼’,是创造学习型组织,挥别传统权威控制型组织的先决要件。”^②

新的时代呼唤新式的领导,他们能让组织更多地释放出集体的智慧,开发出更丰富更具价值的智力资源!

① 张瑞敏,载吴雄库等著,《基于价值观的领导》,经济科学出版社,2002年,序二。

② [美]彼得·圣吉著,《第五项修炼》,上海三联书店,1998年,第4页。

苗东升

10. 复杂工程系统

10.1 从简单工程系统到复杂工程系统

如果把一切造物活动都算做工程,那么,一个社会在一定时期的个体工程五花八门,难计其数,彼此差异极大,很难看到它们之间存在什么普遍联系。但若放在足够长的时期,特别是以历史的大尺度来看,又不难发现这些难以计数的个体工程之间还是存在某些普遍联系的。例如,工程这种社会现象在总体(个体工程的全体)上一直处于演化发展中,同一时代的各种个体工程表现出共同的工程理念和共同的方法论,承受共同的局限性,等等。这些共同的东西构成了所有个体工程之间的共时性联系,而演化过程则构成它们之间的历时性联系。由此决定了研究所有个体工程的总体也需要运用系统观点。

一个社会的全部个体工程的集合作为一个系统,称为工程全系统。以历史的大尺度来看,工程全体显然是圣菲学派(SFI)所说的复杂适应系统中的一类,随着社会需求和社会条件的逐步多样化、精致化、动态化,以及自然环境的不断变化(特别是自然环境的人工化),总之是工程环境的复杂化,工程全系统一直在发生着适应性变化,经历了特定的生成发展过程。人类社会在与动物社会分离开来的过程中已有工程活动,只不过极其简单平庸,谈不上总体联系,无法整体地谈论其要素之间的关联互动模式(即无系统结构可言),也无法谈论它的整体属性和功能,因而把这个时期的所有个体工程构成的集合看成一种非系统的社会存在,更能反映它的本质。但由于人的自觉能动性和人的社会性,这个集合总体上经历了一种从非系统到系统的演化过程,即系统化过程。系统化了的工程全体的第一种历史形态是古代工程,它的主体是劳动密集型工程,主导技术是手工技术,它所支撑的文明形态是农牧文明。替代古代工程的第二种历史形态是近现代工程,它的主体是那些资金密集型工程,主导技术是机器制造技术(机械化技术),它所支撑的文明形态是工业—机械文明。正在形成中的是它的第三种历史形态,不妨暂时称为“后现代工程”^①,它的主体是各种知识密集型工程,主导技术是“祛机械化”、“祛工业化”的多种高新技术(信息技术、生态技术、社会和谐技术等),它所支撑的文明形态是正

^① 汪应洛、王宏波,当代工程观与构建和谐社会,载杜澄、李伯聪主编的《工程研究》第2卷,北京理工大学出版社,2006年,第43—47页。笔者曾指出,西方学者所谓后现代指的其实是后期现代,我们这里讲的后现代指的是现代之后。

在形成中的信息—生态文明。

复杂适应系统理论的第一原理,可以概括表达为“适应造就复杂性”^①。原本简单的系统由于不能适应环境,或者期望更好的适应环境,便从变革自身入手重建与环境的关系。变革的方式或者是增加要素的数量、种类,或者是改进要素的性能、素质,或者是改进系统的结构模式,或者是增多、增强、改变系统的属性和功能,等等,其结果都导致系统自身的复杂化。系统演化是多方向、多途径的,从简单到复杂就是一个重要的演化方向。人们今天看到的复杂工程或工程复杂性,正是工程作为系统在对环境的不断适应中产生发展起来的。从极其简单平庸的、在现代入眼里几乎算不上工程的人类早期工程活动,演变到形成一定形态的古代工程,从古代工程到近现代工程,都是工程全系统的复杂性增大的过程。无论古代工程,还是近现代工程,都存在某些应当看成复杂系统的个体工程,但它们不能代表工程全系统的那两种历史形态。近现代工程的主体本质上还属于简单工程。现代和未来社会仍然存在大量简单工程系统,但决定后现代工程全系统的基本特征和整体面貌的,是那些各色各样的复杂工程系统,只有在现代工程形态下,工程这种社会现象才算在总体上复杂化了。需要说明,此处对工程全系统历史形态划分的思想源于文献1关于工程全系统三种历史形态(古代工程、近代工程和当代工程)划分的见解,但作了重要修正。所谓现代工程并非工程全系统的一种独立历史形态,而是指第二种历史形态达到顶峰并迅速暴露其弊病,亦即孕育后现代工程阶段的工程形态。故把第二种历史形态称为近现代工程,而把第三种历史形态称为后现代工程,即工程全系统的未来形态。从近现代工程到后现代工程的转变,就是工程全系统的主干从简单性到复杂性的演化过程。宏观地看,这至少表现在以下几方面。

(1)工程概念的扩展。人类在创造工程这个词之前,早就萌发了工程意识和工程概念,只是长期处于潜意识状态。工程一词是古代工程形态下的创造物,表明人类工程意识的初步觉醒,开始自觉运用工程概念来思考一类实践问题。但传统工程基本上专指那种加工改造自然物的造物活动,即自然工程(又可细分为两个主要类别,一类是建造屋宇、兴修水利、冶金、制陶等民用工程,一类是制造兵器、构筑工事等军事工程),概念内涵和外延都过分狭窄,这正是传统工程属于简单性范畴的真实写照。从近现代工程向后现代工程的演变正在极大地扩展工程概念,人的一切有目的的“造物”活动都被视为工程,特别是接纳了社会工程、思维工程、学习工程等概念。传统的工程概念只认可硬工程,不承认软工程,现代工程概念区分了软工程与硬工程、实在工程与虚拟工程,越来越重视软工程和虚拟工程的作用。工程类型的多样化还提出了工程全系统的结构问题,即各类工程的相互关系、工程总体布局等,也是传统工程无需考虑的复杂性问题。工程概念的这种扩展,反映了工程全系统由简单到复杂的演变。

^① 约翰·H·霍兰著,周晓牧、韩晖译,上海科技教育出版社,2000年。该书译者把 adaptation 译为适应性,笔者认为译为适应较好。

(2)工程观的演变。所谓工程观,指的是人们对工程的本质、规律、功能、优劣评价以及工程与社会、经济、科技、文化甚至政治的基本关系等问题的根本看法。工程观渗透于工程问题的一切方面和环节中,是制定工程战略的观念基础。有工程实践就有孕育工程观的土壤。但古代工程极不发达,工程观处于无意识的萌发状态。工程概念的自觉运用是形成工程观的起点,但工程观的形成要晚于工程概念的形成,明确提出工程观问题则是从现代工程开始向后现代工程转变时期的事,因为只有把工程问题提到工程观的高度方可有效对付现代社会迅速增加的工程复杂性。汪应洛和王宏波对传统工程观和当代工程观作了比较分析,把当代工程观的要点概括为四个方面:工程生态观,工程的系统协调观,工程的多元价值统摄观,工程社会观。这几种工程观还处于形成过程的早期,其基本思想都属于我们所讲的后现代工程观。显然,传统工程观属于简单性范畴,后现代工程观属于复杂性范畴。

(3)工程系统论的确立。尽管与科学、技术相比,一切工程都讲究综合集成,重视从整体上解决问题,但近现代工程的方法论原则上同样建立在还原论之上,托夫勒所说的“拆零技术”^①对工程理论和实践具有基本的重要性。这一点在今天的工科课程设置中仍然明显可见。但自20世纪中期以来,现代工程的巨大成功把这种方法论的弊病暴露无遗。诚如贝塔朗非所说:“我们被迫在一切知识领域运用‘整体’或‘系统’的概念来处理复杂性问题。”^②这当然也包括工程领域。在现代社会中,工程系统的复杂化趋势已经发展到这样的地步:只有自觉运用系统概念和原理方能有效对付工程复杂性。工程系统复杂化趋势强烈要求超越还原论,采用系统论。学术领域继系统工程的兴起,近年来又提出建立和发展工程系统论,正是这种发展趋势的反映。

(4)工程哲学的确立。传统观点认为,工程最讲实际功效,最远离哲学思辨。这种观点的影响根深蒂固,即使在钱学森的现代科学技术体系中也有反映:工程知识处于最底层,只有通过应用科学和基础科学两个层次才能与哲学联系起来。这种认识既有非常合理的一面,又反映出对现代工程的复杂性缺乏足够的认识,以为现在和未来的工程同样无需直接求助于哲学理论,只要具有必要的科技知识和经验知识足以解决问题。但事实上,现代工程的复杂化已经达到这样的程度,在求助于科学技术之外,还需要自觉求助于哲学,从哲学高度思考工程问题,同时也需要对工程现象做哲学概括,建立工程哲学。发达国家的工程哲学概念萌发于从近代工程向现代工程转变的时期,试图沿用分析哲学的思路考察工程问题,自然不得要领;倒是后现代主义开创了从工程视角解构现代性的大思路,使我们看到工程哲学和复杂性研究的内在联系。在国内,工程哲学的提出和强劲发展趋势恰好跟复杂性研究同步启动,使我们有可能避免走分析哲学的弯路,符合后现代工程发展的

① 阿尔温·托夫勒,前言:科学和变化,载普里戈金等著《从混沌到有序》,曾庆宏等译,上海译文出版社,1987年。

② 冯·贝塔朗非,一般系统论:基础、发展和应用,清华大学出版社,林康义等译,1987年,第2页。

需要。

以上讨论的是工程全系统。工程全系统的复杂化,必然反映在个体工程系统中,造成个体工程的复杂化。因此,本章下面3节仍将主要针对个体工程来讨论工程复杂性问题。

10.2 工程系统要素的复杂化

10.2.1 工程系统价值要素的复杂化

从工程方面看,价值观主要是用物者对工程造物 and 工程行为如何评价、选择、奖惩的思想理念(意识形态),价值观付诸实践则表现为一定的价值关系(社会关系)。我们从这个视角考察工程系统价值要素的复杂化。

就历时性维度看,工程价值观在不断演化,演化的总方向是从单一、低级、简陋到多样、高级、精致、复杂。远古工程的价值追求极其简单低微,面对严酷的环境条件和极其低下的生产力,考虑的基本是满足生存需要的最低使用价值。近现代工程的价值追求日趋多样化、精细化、高级化,区分了经济价值、社会价值、文化价值、精神价值,以及军事价值和政治价值等。但核心是经济价值,对物质价值的追求远胜于对社会价值、文化价值、精神价值的追求,严重忽视了对环境价值和生态价值的兼顾。由此造成了种种严重后果,迫使人们开始反思和解构现代工程的价值理念,在回归对社会价值、文化价值、精神价值追求的同时,更突出了生态价值、环境价值。对工程价值的这种全面追求,正在孕育后现代工程的价值观。

就共时性维度看,社会的发展进步给工程价值追求的复杂化既提出了必要性,也提供了可能性。既然价值观是通过社会关系得以实现的,一定时代的价值观必定是那个时代社会关系的产物,价值观不过是全部社会关系的观念性凝聚和升华。社会发展进步的重要内涵是社会内在差异的增加,地域、民族、国家的不同,职业、收入、地位、文化程度、信仰、阶层的差异,甚至不同年龄段,都会转化为价值追求上的差异,最终落实为对工程的不同价值期望。社会越向前发展,这种差异越大,工程的价值要素越复杂。从所谓个性化设计、小批量生产的主张中,不难窥见人们对工程价值追求的一种发展方向。另一方面,作为能够造物的存在物,人的生存发展越来越依靠自己所造之物;随着造物能力和产品性能的提高发展,社会也就具备了满足人们价值追求多样化、精致化、复杂化的现实可能性。

社会发展在不断加速,导致价值观念的加速变化。社会转型时期价值观的变化尤其快速而剧烈。仅就对住房标准的要求来说,近十几年来我们对国人价值观变化之大都有切身体验,并由此而略窥一斑。价值观演变的快速性和动态性,也是工程价值要素复杂化的动因。

10.2.2 工程系统技术要素的复杂化

尽管远古时期工程的技术含量极为低下,技术却是工程系统与生俱来的构成要素。工程的技术要素也是不断演变的,演变的方向是从单一到多样、从低级到高级、从粗糙到精细、从简单到复杂。工程系统技术要素的复杂化主要表现为以下几方面:

技术的科学含量剧增。古代技术一般谈不上科学含量,基本属于经验性技术。随着还原论科学兴起而产生的近代技术,主导部分是以机器制造为核心的机械化技术,技术中的科学含量成为衡量技术高低优劣必须考虑的因素。科学含量的增加是导致技术复杂化的重要内因,所用技术的科学含量越高,工程系统的复杂性也越大。电气化技术、化工技术等发明进一步增大了现代技术的科学含量,而电子技术、信息技术、航天技术、生物技术等高新技术的出现使技术中的科学含量达到空前的水准,以至于学习这些技术不再是单纯的技术训练,同时需要科学理论的训练,不掌握背后的科学原理,就不能驾驭这些高新技术。

工具设备的系统化。技术的表现形式首先是工具器械,工程离不开使用工具器械。可以把工程理解为运用适当工具器械按照一定程序的造物过程(包括创造社会事物),简称为工程,所造之物凝结了这些工具和程序的精华。即使社会工程也离不开使用工具设备,召开一次大型会议就需要多种信息高技术设备。现代工程使用的不是单一机器,而是需要加以规划和安排的一系列机器组成的机器系统,须按照系统思维协调不同的机器。机器在工程中的系统应用提出了人一机关系问题,人与机器构成更大的系统,需要人一机协调。这些发展趋势都促进了工程技术的复杂化。

技术的集成化。简单工程靠的是单一技术,至多是几种相近技术,易于集成整合,谈不上集成化。近代工程已经向多种技术集成的方向发展,只是集成度不够高而未被意识到。现代重大工程的主导技术都是集成化技术。集成不是堆砌,不是拼盘,而是对异质事物进行系统的收集、选择、简化、重组、整合、改造,使它们有机地融合为一体。集成就是创造,必然涌现出单项技术及其总和所没有的整体特性。如航天技术是机械、电子、化工等技术的集成,管理技术是系统工程、信息技术、控制技术等的集成。这样的集成必定产生复杂性。要把多种异质技术集成起来,往往已不完全是技术问题,同时也是科学理论问题,甚至是思维艺术问题,这样的集成化将赋予技术要素更大的复杂性。

技术的软化。传统工程主要使用硬技术,虽然也离不开某些软技术,但始终被当成无关紧要的问题而未引起注意。从自然工程向社会工程、思维工程的扩展,意味着技术成规模地软化。自然工程的技术、物理技术一般是硬技术,社会技术、事理技术、思维技术本质上是软技术。从近代工程到现代工程的发展意味着承认并重视软技术在工程中的作用。即使那些以制造和使用机器为核心的技术,随着工

程活动的大型化和复杂化,不可避免地会创造出某些软技术。重大工程都离不开软技术。软化是复杂化的一种方式,软技术本质上属于复杂技术,软技术的大量使用既是应对工程复杂性的需要,又进一步增加了工程复杂性。

技术更新换代加快。传统技术可能在几十年或几百年中保持不变,现代技术呈现出明显的动态性。最典型的是信息技术,更新换代越来越快,简直是日新月异。反映到工程中,必然加剧技术要素的复杂化。

10.2.3 工程系统科学要素的复杂化

系统演化的一种途径是构成要素的增减,一种新的异质要素的加入必定引起系统结构的重要改变,进而导致系统性态的显著改变。构成要素的增加一般都导致系统复杂性的增大。一个系统若由二要素演变为三要素,必定会涌现出崭新的特性;在其他条件大体相近的情况下,三要素系统要比二要素系统复杂。在工程、技术和科学三大系统中,科学是最晚出现的。科学系统形成后,在相当长时期内与技术发展没有密切联系,科学知识不可能成为工程系统的独立要素,只能以技术为中介(即科学知识作为技术的构成要素)进入工程。此乃古代工程和近代工程属于简单性范畴的重要根源。但技术中一旦包含科学因素,技术、因而工程就具备了走向多样、精致、复杂的内在动因。随着社会对工程需求的逐步多样化、精致化和复杂化,越来越多的工程问题不再是单纯技术问题,而成为科学问题,除了技术可行性论证,还需要科学合理性(原理的正确性)论证,科学知识终于演变为工程系统的独立要素。就工程创新的三种模式看,在引进基础上的再创新和集成性创新主要是技术方面的创新,原创性创新则首先依赖于科学原理的创新。科学发展到足够复杂时,便无法附加在技术要素中影响工程,而转化为工程系统的独立构成要素。科学知识成为工程的独立要素,工程从三要素系统演变为四要素系统,是工程系统复杂化最重要的内在根源。

现代科学包含大量边缘科学、交叉科学,特别是各种跨学科研究。现代工程越来越具有多学科性和跨学科性,成为跨行业、跨学科的工程。只需要单一学科知识的工程是简单的,必须综合应用诸多学科的工程是复杂的。航天工程需要空气动力学、材料科学、控制科学、信息科学、医学等等,把如此多的不同学科综合集成于同一工程,工程岂能不复杂?

10.2.4 工程系统管理要素的复杂化

管理既然是工程系统的组织件,通过管理把价值观、技术、科学整合组织成为系统,那么,价值观、技术、科学的复杂化必然要求并且迫使工程管理复杂化,用复杂的管理对不断复杂化的价值观、技术知识和科学知识进行整合、组织,确保复杂的工程活动有序展开,创造出复杂的工程产品。经验性的管理是简单的,需要管理科学提供理论指导、借助高新技术实现的管理是复杂的。对于现代重大工程,即使

深谙管理科学理论,熟练掌握计算机技术,管理经验、管理艺术仍然不可或缺,唯有把理论、技术、经验、艺术四者有机地结合起来,才能有效应对日益增加的工程复杂性。

就本意讲,管理是他组织,工程主体分为管理者与被管理者,管理者是工程活动的组织者,其他成员是被组织者。纯粹的他组织管理是简单的,管理者与被管理者界限分明,管理方法机械化。经营管理史上著名的泰勒制是其典型代表,为了最大限度地挖掘职工的劳动效率,把人当成机器来使用和管理。但它忽略了人的复杂性,违反人性,把管理者和被管理者对立起来,破坏了工程系统的内部和谐,也不利于社会和谐。现代管理虽然在管理技术上有诸多改进,但仍然无视人的复杂性,把人视作经济动物,收入最大化是唯一价值追求,单纯以物质刺激调动职工积极性,实质上还是一种简单化的工程管理。后现代工程的管理必须抛弃这种模式,尊重人的复杂性,承认价值追求的多样性,奉行以人为本的管理原则。这就要求在管理中引入自组织因素,全面调动人的积极性,培养职员工程主人翁感。他组织与自组织相结合的管理是复杂的管理,管理者与被管理者的界限模糊化,管理者既发号施令,也提供服务,被管理者参与管理,管理者也受管理,包括接受被管理者监督,尊重下属参与管理的权利等。毛泽东倡导的“两参一改三结合”(鞍钢宪法)就属于建立他组织与自组织相结合的管理模式的一种尝试。圣吉倡导的学习型企业的管理,强调培养工程团队的共同愿景,以求“创造出众人是一体的感觉,并遍布到组织全面的活动,而使各种不同的活动融会起来”^①,实质也是在工程管理中注入自组织因素,使他组织与自组织结合起来。

工程管理中既有物的管理,又有人管理。大量使用高新技术于工程管理,又提出了人一机关系的管理问题,成为管理复杂化的另一动因。现代重大工程都是由大量人员和大量机器按照复杂的互动关系组成的系统,人本身就是一种复杂系统,再加上和异质的复杂机器互动,为工程管理添加了许多新的复杂性。人机结合的管理中存在两种截然不同的技术路线,一条是人机结合、以机为主、人伺候机器的路线。其背后的技术理念是相信机器能够胜过人,其哲学理念是物质因素重于人的因素,在军事领域就是唯武器论。但人的复杂性要靠人来把握,机器无法理解和把握由人的智慧和心理因素产生的复杂性。采用这条技术路线,难免给工程带来人为的复杂性。另一条是钱学森倡导的人机结合、以人为主的技术路线,让机器伺候人,而非人伺候机器^②。技术的发展永无止境,更高明更神奇的新技术还会不断发明出来,但欲驾驭工程系统中日益增加的管理复杂性,只能采取后一条技术路线。

① 彼得·圣吉,《第五项修炼》,郭进隆译,上海三联书店,1999年底,237页。

② 钱学森,《创建系统学》,山西科学技术出版社,2001年,第85—88页。

10.3 工程系统结构的复杂化

10.3.1 工程系统知识结构的复杂化

系统组成要素的复杂化,必然导致系统结构的复杂化,以复杂的关联方式把复杂的要素整合起来。工程作为一种知识系统,具有层次结构。构成工程系统的四大要素实际是工程系统的四个一级子系统,即科学知识子系统,技术知识子系统,管理知识子系统,价值知识子系统,仍属于系统的宏观层次。工程系统所用的四类知识分别储存于社会巨系统的不同子系统中,经过工程主体的选择、吸纳、加工,再同主体自身的知识储备相融合,形成工程系统的四个知识子系统。四个子系统又有各自的结构。建筑在多学科基础上的工程的这些知识子系统(特别是科学知识和技术知识),本身又是由不同层次、不同子系统构成的,可以表示为一种多分支、多层次的树状结构。树结构是一种简化表示方式,不同分支之间没有交叉,因而许多对工程有价值的知识无法纳入其中,这从一个侧面反映了工程系统知识结构的复杂性。工程作为系统最重要的结构关系是价值、技术、科学、管理四个一级子系统的整合方式,当代工程系统的知识结构不再能够用树模型来表示,因为四者之间最本质的关联方式是相互交叉、融合和更新,即使复杂网络也只能表示其交叉方式,无法反映相互融合、新陈代谢这种关联方式。

工程作为一种知识系统,是以承担该工程的团队为载体而存在的,并通过工程团队的知识结构表现出来。一个工程团队的知识结构在很大程度上可以归结为它的人才结构,人才类型是否齐全,人才素质是否达标,人才自身的知识结构是否合理,各自的长处能否互补,短处能否相互屏蔽,是一个复杂的管理科学问题。如何选择、招聘、培训人才,如何搭配、整合、使用人才,实际就是如何整合、组织工程需要的各种知识,以期产生最佳的整体涌现性。总之,一项重大工程的人才群体也是一个复杂系统,它的组建和使用有赖于复杂的组织管理。大型复杂工程系统的人才结构必须有显著的异质性,既要有各种领域专家和技术能手,又要有通才、帅才,解决疑难问题还需要某些怪才,需要不拘一格用人才,形成合理的“人才生态”,这尤其要靠复杂而高明的结构模式来整合。

人类从创造出文化那天起,工程活动就包含文化因素。但古代工程中的文化因素属于系统的“微量元素”,而非基本要素,长期未曾引起注意。社会发展到今天,文化因素在工程中的作用越来越突出,仍然把文化作为工程系统的环境因素,轻视文化的作用,工程求善求美的价值目标就难以圆满达成。特别是大量文化工程的建造和运营,文化、历史知识成为构成这类系统的主导要素,科学技术知识退居辅助因素,现行的工程文化理念显得过时了。现代社会日趋激烈的竞争使人们认识到,不论是国家,还是企业,甚至个人,竞争力取决于综合实力,包括硬实力和

软实力,而软实力的核心是文化要素。在成熟了的后现代工程那种历史形态下,文化知识很可能成为工程系统的另一构成要素,那时的工程系统论将采用五要素说。从四要素演变为五要素,工程系统的结构将显著地增加其复杂性。

10.3.2 工程系统过程结构的复杂化

社会对工程需求的多样化、精致化和复杂化,工程系统要素的复杂化,以及工程环境的复杂化,必然导致工程过程的复杂化。图 2.2 所示的过程结构是一种极度简化的表示方式,对于现代重大工程,实际的情形要复杂得多。

首先,对于较为大型的工程系统来说,图 2.2 所示的四个环节本身也都是作为过程而展开的,构成整个工程过程的四个一级子过程;每个一级子过程又由若干二级子过程构成,二级子过程还可能包含若干三级子过程,一直划分到不能再细分的单元,称为活动,活动是过程系统的最小组成单元。具有层次结构是复杂系统的共性,工程过程即如此,第 1 层次由四个一级子过程组成,第 2 层次由所有二级子过程组成,等等。因此,较为大型的工程系统都呈现多层次的树状结构,每个一级子过程都是工程大树上的子树。

就图 2.2 看,工程过程似乎是一种线性系统,四个环节按照线性链连接起来。但只要深入到二级以下子过程就会发现,工程过程实质是一种非线性系统。立项中也有设计,即工程框架的预设计。三峡工程立项前早就有从孙中山到毛泽东几代人的设想,新中国建国后还有工程技术人员的多次预设计,历时约 70 年。复杂的工程设计中可能有补充立项,还有试施工,即解剖麻雀式的施工,现代社会的重大工程设计阶段还要利用计算机进行模拟施工,以取得必要的设计数据。大型复杂工程的施工过程中常有补充设计或修改设计,甚至还可能有新的子项目的立项,有新立项就有新设计。即使评价验收往往也需要反复多次进行,不同阶段都有阶段性评价验收,不同层次的子系统有各自的评价验收,工程总体的评价验收也可能分多次进行。其结果,一是使工程阶段的划分带有模糊性,彼此界限不清;二是使实际工程过程形成一种回环往复、大小嵌套的结构模式,呈现明显的非线性特征,工程过程实质上都是非线性系统。

还须注意工程过程的动态复杂性。工程决策不周密,不以工程主体意志为转移的突发事件,重大故障,外部环境未曾预料到的变化,等等,都会使工程过程发生意想不到的变化。修正决策,修改设计,停工待料,收拾事故残局,采取补救性措施,如此这般的现象,在重大工程过程中并非罕见,它们既是工程过程的复杂性使然,也必然增加工程过程的复杂性。

10.3.3 工程系统信息结构的复杂化

撇开物质、能量、人员在工程中的流动,仅仅就信息流动看,任何工程过程都是信息作业过程,2.1.4 节作了极为简化的分析。在大型复杂工程中,立项、设计、施

工、验收都是一级信息作业子过程,还可以进一步划分出下一级子过程。根据10.3.2节的分析,工程系统的信息作业无疑也具有多层次的树状结构,同样呈现出模糊性、非线性和动态性,使得无论是信息的测记采集、编码表达、加工处理,还是信息的传送、使用和控制,以至信息作业的全过程,都变得复杂化了。

所谓工程系统的信息结构,既指工程过程的信息结构,又指工程造物的信息结构。我们首先考察前者。在信息化时代条件下,工程环境的变化不断产生信息,工程过程时时都在产生信息,工程系统与环境的互动、不同子系统的互动既是使用信息的过程,又是产生信息的过程。大型复杂工程过程所涉及的信息常常达到海量规模,对信息进行管理的必要性异常突出。工程的管理实质就是信息的管理,通过管理信息流来管理工程中的物质流、能量流、人才流。工程管理的信息化是社会信息化的题中应有之义,一切现代工程、特别是重大工程都力求引进以计算机为中心的信息技术,建立管理信息系统,实现信息化管理,以提高工程的效率,保证工程的质量。这既是工程管理复杂化的需要和表现,又是工程管理进一步复杂化的原因。

工程所造之物都是系统,凡系统都有信息结构。工程所造之物可以根据其信息结构粗略地分为两类:死物和活物。前者指产品系统各组成部分的相互关系固定不变,其信息结构简单,一向没有成为值得重视的工程问题。后者既有固定不变的框架结构,又有可变的运行结构,须在用物过程中加以调节控制,这类工程产品的信息结构就值得重视了。这类产品又可分为三个档次。最低级的是用物过程依靠人工操作的机器,信息结构问题基本是造物者考虑的事。较高档次的是自动机器,具有相当复杂的信息结构,它们的设计和使用都需要控制理论的指导。更高级的是智能化的工程造物,其信息结构要比第二类更复杂,就连操作使用都属于高智力劳动。就目前看,从玩具、居室、交通工具、办公室设备到作战武器都已开始追求智能化,微软公司创建者比尔·盖茨在西雅图修建的智能化居室就是一件代表作。工程造物的自动化,特别是智能化,其成败优劣的关键是该造物作为系统的信息结构的设计和制造。而创造这种产品的工程系统本身必须具有复杂的信息结构,智能化产品的信息结构只能是信息结构复杂的工程过程的结晶。

10.3.4 工程系统价值结构的复杂化

一项工程就是一个价值关系集合,主轴是用户与工程主体的价值关系:用户以一定的付出换取工程造物,主体以一定的工程造物换取用户物质的和精神的报酬。现代社会的复杂化带来工程用户的多元化,同一工程的用户可能是多个用户的联合体。三峡水利工程的用户包括多个省市、部门、行业,涉及政府、企业、居民三个层次。多用户工程要考虑不同用户之间的价值关系,非个人的工程主体要考虑不同下属部门之间的价值关系,即设计与施工、管理层与被管理层、个人与团队之间的价值关系,以及不同设计部门、不同施工部门、不同个人之间的价值关系。这就使得现代社会的重大工程都是巨大的价值关系网络,不同价值追求之间的对话和

整合、价值观念从工程起点到终点的转化和流动,都呈现复杂的态势。对于这类工程系统而言,图 2.5 所示价值流程的链结构是一种过度简化的模型,难以反映现代工程价值流程的复杂性。

文明的进步导致人们价值追求的多样化、精致化和复杂化,现代社会达到前所未有的水平。同一用户对同一工程有多方面的价值期望,不同期望往往相互矛盾,甚至相反,既要 A,又要非 A。在多用户工程中,不同用户各自抱着多种价值期望同时关注和影响同一工程,不同价值取向(有些可能是相互否定的)把同一工程向不同目标拉动,相互间形成复杂的互动、互应、相互制约的态势。如何在多种多样的、相互矛盾甚至相互否定的价值追求中达成平衡协调,形成各方都满意(至少可以接受)的总目标,顺利地把用户价值追求向工程主体的价值承诺转化,即工程立项,成为一种复杂的过程。

重大工程由价值期望向价值承诺转化的复杂化,还与工程主体自身的特点有很大关系。现代重大工程的主体也是由诸多团队组成的联合体,各自在技术力量、科学文化素养、工程经验、自身的价值偏好上都有差别。由价值期望向价值承诺的转化既是翻译,也是创造。翻译不是一一对应,创造更体现个性,工程主体的这些差别都会对由价值期望向价值承诺的转化的方向、方式、质量产生影响。某些由不同团队分段负责的同一大型工程,常常显示出风格的不一,甚至有质量的差别,就说明了这一点。即使由单一主体完成的工程也可能存在这类问题。矗立在人民大会堂旁边的国家大剧院使多数中国人感到缺乏协调美,表明从甲方的价值期望向乙方的价值承诺的转化不算很成功。两种建筑风格的协调是一个复杂的工程问题,外籍设计者对中国人的审美价值了解有限,中方主管部门对西方的审美价值了解也有限,双方难以言明的价值观差异产生了意想不到的后果。总之,由用户的价值期望向工程主体的价值承诺的转化具有复杂奥妙的机制,目前工程科学和工程哲学对其尚无实质性的了解,工程中的许多关卡是靠人们的经验和意会知识取得突破的。

工程主体的不同部门在技术力量、科学文化素养、工程经验以及自身的价值取向上的差别,同样影响着由工程立项环节的价值承诺到规划设计环节的技术承诺的转化,以及向施工操作环节技术实现的转化,导致工程价值流程的复杂化。

还需要注意,在现代社会的重大工程中,立项、设计、施工和评价四个阶段的界限模糊化了,用户和施工单位都可以参与设计,设计者也参与施工,相邻阶段往往你中有我,我中有你,价值观从工程起点到终点的流动和转化不再是线性、单向的,而是通过各种反馈互动环路回还往复进行的,因而异常复杂。新兴的复杂网络理论可以从一个侧面描述这种复杂性,但更多的方面仍须靠经验来把握。

10.4 工程系统环境的复杂化

按照系统与环境的关系,钱学森把系统分为四类:简单环境中的简单系统,简

单环境中的复杂系统,复杂环境中的简单系统,复杂环境中的复杂系统。工程系统也有此四类。社会属于复杂系统,即使自然工程也是在社会环境中进行的。所以,单就社会环境看,所有现代工程都是复杂环境中的系统,大型社会工程更是复杂环境中的复杂系统。

10.4.1 工程系统科技环境的复杂化

上面两节事实上已说明,随着科学技术从小科学向大科学、从简单性科学向复杂性科学、从传统技术向高新技术的发展,工程系统的科技环境正在越来越多样、丰富、精深、复杂,工程活动与科学技术的联系更为密切。在这样的科技环境中选择工程要素,进行加工、改造、组合,进而建构系统,不可避免会导致工程的复杂化。

(1)复杂性科学。这个概念越来越得到主流科学界的认可,但关于什么是复杂性科学,目前人们的认识很不一致。粗略地说,复杂性科学由三大块组成,一是各个学科中的复杂性研究,二是各种跨学科研究,三是作为复杂性研究方法学的复杂系统理论。如此庞大的知识领域,无法归结为一个学科,至少应看成一大学科群,而系统科学、信息科学、生态科学、环境科学、生命科学、智能科学、思维科学、经济科学、社会发展理论等新兴科学,构成复杂性科学的主干。随着复杂性科学的发展,科学与人文、科学与非科学的界限将模糊化,这种趋势对工程将发生怎样的影响,目前难以预料。复杂工程系统不一定都以复杂性科学为理论基础,但以复杂性科学为理论基础的工程一般都属于复杂系统。

(2)复杂性技术。对应于复杂性科学,可以提出复杂性技术的概念,目前同样难以给出确切定义。传统技术建立在经验基础上,属于经验性技术;现代技术越来越依赖于科学理论,属于科学性技术,对科学原理的依赖是技术复杂化的主要内在根源。一般来说,经验性技术比较简单,科学性技术比较复杂;处理宏观对象的技术比较简单,处理微观对象的技术比较复杂;非集成性技术比较简单,集成性技术比较复杂;人工操作的技术比较简单,自动化技术比较复杂;非智能化技术比较简单,智能化技术比较复杂;硬技术比较简单,软技术比较复杂;自然技术比较简单,社会技术比较复杂;不直接接触及伦理问题的技术比较简单,明确触及伦理问题的技术比较复杂;等等。但比较复杂的技术不等于复杂性技术,其间的界限并不分明。粗略地说,建立在复杂性科学基础上的技术,如信息技术、系统技术、航天技术、海洋技术、环境技术、生物技术等新兴技术,以及各种社会技术、思维技术,一般都属于复杂性技术。建立在复杂性技术基础上的工程,一般都属于复杂性工程。

10.4.2 工程系统文化环境的复杂化

以农业社会为参照系,现代化的重要表现之一是社会的复杂化,包括文化的复杂化。工业化社会的文化比农业社会的文化要复杂得多。当代中国的器物文化、制度文化、法律文化等都在经历不断复杂化的演变,这一点我们每个人都在直接感

受着。而经济全球化更伴随着世界上不同文化的交流、碰撞、融合,前所未闻的文化事件、文化现象层出不穷。这两方面共同导致现在和未来的工程活动的文化环境在不断复杂化。

随着国人从温饱型生活向小康型生活迈进,特别是将来向富裕型生活过渡,人们对自然工程的文化追求日趋多样化、精致化,工程造物的文化含量不断增加,工程对文化环境的依存度将不断提高。科学文化和人文文化、传统文化和现代文化、不同民族文化、不同地域文化、中国文化和外国文化之间的差异、冲突、融合等问题将日益突出,并在工程活动中以复杂多样的方式反映出来。

随着人类文明的发展,社会工程、思维工程等各种非自然工程在工程全系统中所占的比重必然增加,这类工程对文化环境的依赖性明显大于自然工程,文化环境的复杂化对它们的影响更显著。

跨地域的大工程常常涉及不同民族的利益,无论是建设过程,还是产品的使用过程,民族文化和宗教文化都是不容忽视的重要因素,工程主体难免遇到工程的科学性与宗教信仰的矛盾、不同地区或不同民族文化的差异协调之类的麻烦问题。青藏铁路运行于中国西部少数民族地区,工程系统必然受到地区的、民族的、宗教的文化环境的塑造;将来还要和相邻的中亚、南亚国家接轨,建设跨国铁路网,那里的民族文化和宗教文化更是工程必须慎重对待的国际问题。2008年北京奥运会是一项大型复杂的社会文化工程,首先要体现主办国的华夏文化,但作为一次国际体育盛会,同时要考虑所有参赛国的文化,以实现“同一个世界,同一个梦想”的承诺。

随着经济全球化、社会信息化的发展,中国将越来越多地参与甚至负责某些世界范围的大工程,如国际维和行动、灾害救援行动等。国际维和属于社会工程,所在地区的文化环境陌生而复杂,应深入了解、熟悉、尊重那里的文化,要善于运用这种文化于维和工程中。我们参与的每项国际行动都是一定的工程项目,都有助于构建和谐世界。

极端强调物质因素,追求齐一性、普遍性、标准化,等等,这类文化要素是现代性在工程活动中的突出表现,因而成为后现代主义全力解构的对象。从现代工程向后现代工程的转变伴随着对现代性的文化解构,后现代主义成为这一时期工程活动的文化环境的重要组成部分。但西方近几十年来盛行的后现代主义具有很大片面性,他们在很大程度上反映的主要是西方社会对现代化后期的文化诉求,还不是取代现代社会的未来社会的文化诉求。我们的工程活动应意识到这一点,审慎对待后现代主义文化观的影响。

创造和使用符号是人的本质特征之一。工程活动是在由各种人造符号组成的环境中进行的,符号环境是文化环境的子系统。除了各民族的自然语言文字,工程还有自己特有的语言,不同工程类型有不同的工程语言,并随着工程的发展而不断丰富。语言符号的使用产生了虚拟现实工程,文学艺术创作就是一种虚拟现实工程,文艺作品的功能是给人类提供一种能够产生美感的虚拟现实的生活。信息高

新技术的发明造就了一种全新的虚拟现实工程,使符号文化对工程活动产生了前所未有的广泛而奇妙的影响,开辟了工程复杂化的新途径。

10.4.3 工程系统社会环境的复杂化

简单工程活动在简单的社会关系网络中进行,实际上是对复杂的社会关系网络作了高度的切割,无须复杂的公关活动。复杂工程活动在复杂的社会关系网络中进行,必定伴随复杂的公关活动,这有利于工程系统充分吸纳社会资源,但也易滋生工程腐败现象。简单工程系统的一个显著特点是,工程的利害相关者和利害无关者彼此界限分明。复杂工程则拥有大量潜在的利害相关者,却常常处于工程主体的视野之外。特别是当用户和工程主体都是强势社会群体时,弱势群体的利益一般都处于工程决策者的考虑范围之外,其实质是人为地消除了工程固有的复杂性,迫使这种复杂性隐蔽地发生作用。侵犯弱势群体利益的工程,其有害后果经过积累放大,迟早会由隐到显,危害社会和谐安定,最终反馈于该工程或后续工程中,产生意想不到的严重后果。在工程活动中如何合理抑制强势者对弱势者价值期望的蔑视和侵犯,保障应有的社会公平,是尖锐而艰难的社会问题。大型复杂工程涉及各种不同的价值追求,以政府为客户的工程更须顾及社会的方方面面。在越来越复杂的现代社会中,应当把潜在的利害相关者看成潜在的用户,充分照顾它们的价值追求。这无疑会增加工程的复杂性,但若整体地、长远地看,却是十分必要的。

一种工程哲学观点认为,工程是各种社会因素建构的结果。工程的社会建构者不仅有用户、供货商、监督部门等明确承担建构任务者,而且包含各色各样、或隐或显的利害相关者,他们以种种难以明言的方式参与工程的建构。社会大环境主要通过工程主体来建构工程,来自不同地区、分属不同阶层或民族、生活于各种不同社会关系中的工程建设者,代表社会大系统从事塑造工程的活动。这些不同角色以无法描述的方式把形形色色的社会因素带进工程中,工程活动的展开实质就是通过他们而对社会因素的综合集成。社会大环境具有分形结构,部分与整体有某种相似性,整个社会的态势、特点都会反映在所有个体工程中,一项具体工程就是一个小社会。文革期间社会的混乱在当时的所有工程中都可以看到,近十几年来不断滋生泛滥的腐败现象在当前的大多数工程中都有所反映,等等,都是社会对工程的建构作用使然。

现代社会的发展使工程评价大大复杂化了。工程评价不再只是用户和工程主体的事,一切利害相关者,不论显在的或潜在的,都在参与工程评价。对于重大工程,整个社会都有知情权,都应参与评价。许多大型工程,如青藏铁路,还要接受邻国乃至全世界的评价。特别重要的是舆论界的评价,舆论监督对工程进程和质量有重要影响,舆论界实际上也是重大工程的重要社会建构者,它可能帮助某些重大工程成功立项,或取消立项,迫使某些工程改变设计方案,或推倒重来,等等。

10.4.4 工程系统自然环境的复杂化

在今天的地球上,没有打上人类烙印的纯自然环境早已不复存在,自然环境越来越人工化,使得每一项个体工程都是在人工化了的自然环境中进行的。“人工性和复杂性这两个论题不可解脱地交织在一起”^①,人工性造就复杂性。人工性主要是通过工程活动而改变自然环境的。每一项工程都在改变自然环境,所有工程的全体更在整体上改变着自然环境,这种改变的某些方面总是工程的设计者和施工者们未曾预料到的,因而给后续工程的自然环境打上新的意想不到的人工烙印。新工程须以正在进行的工程和已有的工程造物为环境来立项、设计、施工,视它们为既成事实,补充它们,将就它们,修正它们。失败工程的无用产物(如烂尾楼),过时工程的废墟,古代工程的遗迹,都增加了新工程的环境复杂性。即使最成功的自然工程也会使自然环境产生某些不良变化,许多消极影响要到产品投入使用很长时期以后才会暴露。南京长江大桥限定了过往船只的高度,南水北调工程有可能破坏诸多情况不明的地下文物,等等,都是人工化了的自然环境为新工程带来的必须应对的复杂性。

航天科技的初步开发,已经使太空成为人类工程活动新的自然环境。太空环境具有地球环境没有的特征和独特的复杂性,从地面到太空,从地球到月球(人类在月球上开展工程活动已经指日可待),再到别的星球,将把工程活动推向一个陌生而又浩瀚无边的自然环境中。迄今为止,人类只有在地球上从事工程实践的经验,到别的星球上开展工程活动,必然会遇到前所未有的环境难题。问题还在于太空也在人工化,不断增加的太空垃圾威胁着新的航天工程,霸权主义谋求垄断太空更使航天工程的自然环境人工化、复杂化。

生物学的巨大进步,催生了生物工程。生物工程正在改变生物物种,改变生育方式,制造基因食品,克隆动物,等等,总之是深刻地改变着地球的自然生态环境。未来的许多工程要在包含大量生物工程产品的新生态环境中进行,福兮祸兮,眼下谁也说不清楚。这本身就使工程系统的自然环境复杂化了。自然环境的人工化,生态因素的内化(参见 10.1 节所引汪应洛文,第 44 页),导致工程系统与其自然环境的分界线模糊化。近期就能暴露其弊病的生物工程易于制止,不会对生态环境造成不可恢复的破坏。近期看似很有利,足够长时期以后将显露出不可逆转的重大危害,这样的生物工程将造成的生态后果是很可怕的。

10.5 复杂适应性工程系统

系统的本质特征包含内在的和外在的两方面,要素和结构赋予其内在规定性,

^① 司马贺,人工科学,武夷山译,上海科技教育出版社,2004 年,第 2 版序。

环境赋予其外在规定性。工程要素、结构、环境的复杂化,带来工程系统内外规定性的复杂化。以上面的讨论为基础,就可以讨论工程系统整体的性态复杂性了。

科学理论的任务是提供描述对象的模型,据之引出关于对象的规律性认识。系统科学提供了描述现实系统的各种模型。描述复杂工程系统应向复杂系统理论寻找理论模型。以耗散结构论和协同学为代表的自组织理论,可以有效地描述激光器之类简单巨系统,阐明物理世界如何产生出最小复杂性,对于在复杂社会环境中进行的复杂工程系统则无济于事。混沌理论能够解释确定性混沌这种迄今所知最复杂的动力学运动,但大型复杂工程无法写出确定性方程,除了某些局部问题,混沌理论少有用武之地。对于复杂工程系统,目前较为有效的理论工具是复杂适应系统理论(CAS)和开放复杂巨系统理论(OCGS)。

CAS理论优越于自组织理论之处,首先在于它把所谓复杂适应系统的组分界定为具有主动性的行动者(agent,中文译者多半译为主体),它们能够在复杂多变的环境中主动采取行动,调整自己以适应环境。由人构成的工程主体,从职工个人到各级下属单位,再到工程整体,本质上都是这样的行动者。特别是在激烈的市场竞争中,面临不断进步的科学技术,工程主体这种行动者必须不断学习和创新,积极主动地适应环境,在适应环境中发生相互作用,形成各色各样的系统,呈现出各自的协调性、持存性等整体涌现性。历时17年的三峡工程是在中国开始向市场经济转变时上马的,始终面对强大的质疑之声,受到全国舆论的密切监督,乃至世界的关注,又面临新技术革命浪潮,因而只能在体制改革、社会转轨的大环境中不断学习,不断调整自己,坚持技术创新,它的历史乃是工程作为复杂适应系统发生发展的典型案例。神舟飞船工程上马时,中国航天事业已被推向市场,从部委管理转变成公司运作,社会环境日趋复杂化,航天科技快速更新,加上国际航天领域的激烈竞争和超级大国的封锁和遏制,复杂多变的大环境把它造就成一个通过反复学习、试错、改进而走向成功的复杂适应系统。

在CAS中,任何特定的适应性行动者所处环境的主要部分,都是由其他适应性行动者组成的,每个行动者在适应上所做的努力就是要去适应别的适应性行动者。这个特征是CAS生成的复杂动态模式的主要根源。现代工程系统一般都具备这种特征。在现代社会条件下,同一时期的工程全系统中的大量个体工程之间的联系前所未有地多样化和紧密化了。工程客户和工程主体都被推向市场,用户的招标与主体的竞标构成一种复杂的博弈关系。许多重大工程一般由不同用户的联合体招标,彼此在合作中有竞争;为了承包一个复杂工程,诸多工程主体在项目、资金、资源、人才、技术等多方面展开竞争。大型复杂工程一般由多家工程单位共同承包,形成联合主体,彼此既合作又竞争。除了承包单位,大型工程需要成百上千个单位提供帮助,神州飞船就是由数以千计的工程单位合作研制的。所有这些行动者都在相互适应着,在适应中相互改变着,在适应环境中共同造就了工程系统的复杂性。

CAS 理论的主要提出者约翰·霍兰认为,任何 CAS 都呈现出 7 个基本特征:4 个属性(聚集,非线性,流,多样性),3 个机制(标识,内部模型,元件)。“同时具有这 7 种性质的,没有哪个系统不是复杂适应系统。”(《隐秩序》,第 42 页)CAS 理论基于此 7 个基本点来说明这类系统做什么和怎么做,并在此基础上建立系统模型。容易看出,除了简单平庸的工程,一般工程系统都具有这 7 个基本点,多样性是显然的,非线性在下节讲,此处只对其余 5 点作简要考察。

聚集。一个正在运行的大型工程主体,它的各级成员,它的规划、设计、施工、管理部门,都是由社会大环境中无数 agent 经过聚集而成的,个人聚集为团队,小团队聚集为大团队,为完成共同的工程任务而寻找、选择、试行、修改、创造合理的聚集(整合)方式,简单的行动者经过聚集涌现出复杂的大尺度行为,最终形成 CAS 非常典型的层次组织。

标识。标识即旗帜,或赖以识别的标牌,是系统为了聚集和生成边界而存在的一种机制,能够使系统各部分建立选择性相互作用。工程系统的标识就是它的目标和立项,有了它,就可以启动分散于社会大环境中的形形色色的行动者的聚集过程,发生对称性破缺,经过竞争、筛选而确定系统的组分,它们再经过分工、特化、组织,形成功能齐全、结构有序的工程主体系统。标识在作为 CAS 的工程系统运行过程中始终发挥作用,“CAS 用标识来操纵对称性”(《隐秩序》,第 13 页),凭借标识实现各种对称性破缺,直至工程任务的完成。

流。任何 CAS 中都有物质、能量、信息的流动,统称为资源流动。流动的始点、中继站和终点站,称为节点。连接节点的线,称为连接者。通过流动使系统凝聚为一体,去适应环境,求得生存发展。故 CAS 可以一般地表示为三元组{节点,连接者,资源},在数学上用网络来表示。工程系统存在资金、设备、材料、技术、人员、信息等多种资源流,工程的实质就是资源的流动,或齐头并进,或前后相继,形成网络结构。流具有两个重要特性,即乘数效应和再循环效应,在工程系统中都有表现。

内部模型。内部模型代表行动者行动前进行预测的机制。行动者要适应环境,先得对环境有所预测。要预测外部环境,行动者需有一定的内部结构和机制,据之感受外部事物的特征和变化,获得并处理信息,在大量涌入的模式中进行选择,在做出应对行为的同时,将这些模式转变为内部结构,以便当再次输入这类模式时,行动者能够识别之。内部模型是进化的结果,在适应环境的过程中,支持和强化有效的模式,弱化和剔除无效的模式,从而把经验转化为内部模型。所以,如果考察一个行动者的内部结构就能推断出它的环境,这个行动者的内部结构就是它的一个内部模型。

元件。元件指构成 CAS 的最小组分,或称积木块。CAS 是由相互作用的行动者组成的多层次系统,行动者的基本行为方式是对来自环境的刺激做出响应,它们的主动性及其行为方式可以用一组刺激—反应规则来描述,这些规则具有“如

果……,则……”的形式。不同行动者之间的相互作用,行动者对环境的适应性行为,都归结为一套刺激—反应规则的重复应用。SFI 学派承认 CAS 有可还原的一面,上一层次的积木块可以还原为下一层次积木的相互作用和组合,较高层次的规律是从较低层次积木块中推导出来的。从微观行动者(microagent)出发,反复进行刺激—反应规则的各种组合,即可生成各个层次的行动者,直至生成整个 CAS。

作为 CAS 的工程全系统也是多层次结构系统,可粗略地划分为四个层次。在系统整体层次之下,首先是由自然工程、社会工程、思维工程等一级子系统构成的层次。组成这些一级子系统的二级子系统,如自然工程中的水利工程、宇航工程、海洋工程等;社会工程中的科技工程、教育工程、人才工程等,构成下一层次。这两级子系统仍然是 CAS,但都属于一类工程的集合,而非个体工程。进一步划分就可能是个体工程,如水利工程中的小浪底工程、三峡工程等。这类个体工程千差万别,那些在工程起点上即可全部规划设计好、然后完全依照设计方案施工操作的工程,属于平庸工程或简单工程,不必视为 CAS。除此之外,凡是在起点上只能给出大纲式的规划设计,需要在工程进展中依据不断变化的情况加以细化、补充、调整,通过创新攻克难关,即不断自我学习和改进以适应环境,在适应中造就出复杂性,这样的个体工程都是 CAS。特别地,创新是系统最有效的适应性行为,通过不断创新而开拓前进的工程必定是复杂适应性系统。三峡工程就是一个复杂适应性系统。

CAS 理论提供了一套概念体系,有较强的解释力,有助于定性地理解大型复杂工程系统的特点及其演变历程。CAS 理论还包括一套建模理论和方法,核心是霍兰首创的遗传算法,以及在此基础上制定的软件,如 SWAM 程序,都可能在具体的工程中派上用场,获得工程系统的某些定量结论。

10.6 开放复杂巨型工程系统

钱学森把现实存在的系统划分为简单系统、简单巨系统和复杂巨系统,后者又分为一般复杂巨系统和特殊复杂巨系统(社会系统)。鉴于复杂巨系统都是对环境开放的系统,为强调开放性对它们的特殊重要性,钱学森又称之为开放复杂巨系统,制定了描述它的初步理论框架,即开放复杂巨系统理论。现代社会的大量工程项目属于这类开放复杂巨系统,或者说,后现代工程具有代表性的项目都是开放复杂巨系统,需要应用开放复杂巨系统理论来认识和处理它们。工程系统论应主要研究这类对象。

能够被看成开放复杂巨系统的工程应具有以下特征:

巨型性。规模主要是工程系统的一种空间属性,由工程展开的地域范围、参与人员和部门的数量、工程产品的几何尺度等表征。反映到时间尺度上,规模表现为工程系统工期的长短。古代工程大多不属于规模性造物活动,近代工程的主干已

经成为规模性造物活动,从前者到后者是工程全系统演化史上的一大进步。对于现代和后现代工程,规模性成为一个重要的系统属性,有代表性的工程一般都是大型或巨型项目。当年的两弹一星工程有数十万人员、上千单位参与,跨行业、跨地域、跨部门,巨额投入,牵动着从普通民众到国家最高层的神经,是典型的巨型工程。中国高教领域的 211 工程,全国范围的希望工程,涉及中国和东南亚数国利害的澜沧江—湄公河次区域开发工程,由联合国等国际组织发起和组织、往往要在世界范围展开的工程,都属于巨型工程。事物一旦形成规模,就会产生规模效应,正的规模效应能提高系统的竞争力。但规模大有大的难处,内部关系复杂,行动不灵活,周期长,滞后现象多,等等,将产生负规模效应。具有足够大的规模是系统产生复杂性的必要条件之一,复杂性研究的各个流派都承认这一点。

组分的异质性。决定系统结构复杂与否的因素主要不是系统的规模,而是组分或要素的差异性。即使有巨量的组分,如果属于同类或少数几类,彼此差异性很小,系统的结构也是简单的,属于简单巨系统。组分的异质性越显著,把它们整合为一个统一体的方式就越复杂困难;结构越复杂,工程系统的整体特性也越复杂,越难以驾驭。复杂巨系统的复杂性主要来自组分的异质性导致的结构复杂性。宇宙飞船工程集机械、电子、信息、控制、医疗等诸多异质技术于一身,是自然工程系统中少见的复杂系统;但它的复杂性不止于此,还在于工程所涉及的不同部门之间责任的分配、利益的兼顾、行动的协调、关系的梳理等社会因素,航天员的训练则是关于人的工程,人本身就是复杂巨系统。现今牵动国人神经的各种社会工程,小到安居工程、人民币汇率调整,大到改革开放、构建和谐社会,都是组分的异质性极其显著的系统,组分的异质性造就了系统结构的复杂性。

开放性。工程系统都是开放的,一切工程造物都是耗散系统,工程建造过程更是人类高度集中耗散物质、能量、信息的活动,因而除了系统科学讲的一般意义上的对环境开放,工程系统还需要强调两点:一是工程向整个社会开放,包括向那些跟工程没有直接利害关系的部门、群体、个人开放,听取他们的意见,照顾他们的潜在利益,接受舆论的监督;二是工程向未来开放,多从社会的长远发展考虑,进行代际对话。

动态性。结构、状态和特性随时间延伸而改变的系統,称为动态系统。工程过程的展开原则上都是动态的,动态性的表现形式各种各样,大型复杂工程尤其呈现出不可忽视的动态性。工程要讲速度,速度是动力学概念,快速性是工程系统追求的性能指标之一。平稳性是动态系统的另一重要特性,工程系统力求避免大起大落;大型复杂工程进展中快速性与平稳性的矛盾比较突出,必须妥善处理。工程实施是资金、材料、设备、人员、信息的流动过程,任何流动都是动态的。简单工程的投资可以看作静态的,市场经济下的大型复杂工程的投资则不同,因市场价格、银行利率等因素的波动,一定的投资金额的真实价值处在变动之中,需要区分为静态投资与动态投资,才能妥善管理。同时进行的不同工程子项目,前后相继的不同施

工阶段,相互之间的协调配合必定是动态的,不能指望经过一次协调就万事大吉;工程系统与环境的协调,工程内部的协调,是贯穿于工程全过程的动态行为。工程进程中经常出现这样那样的问题都是过程动态性的表现,施工周期越长,工程的动态性越明显。环境的动态变化必然反映到系统中,转化为系统自身的动态变化。由高度集中的计划经济向社会主义市场经济的历史性转变是极其深刻而剧烈的动态过程,在这样的环境条件下运行的工程系统,必定呈现出特有的动态复杂性。若就工程全系统看,一波接一波的工程创新,一波又一波的技术革新,以致工程全系统总体形态的历史性转变,都呈现出过程的动态特性。我们从当前各种大型复杂工程的经历中,不难看出工程全系统由近现代形态向后现代形态转变的动态性,以及它所带来的复杂性。

非线性。现实的工程都是非线性系统,工程涉及的各种关系都是非线性关系,工程的时间展开是非线性过程,工程作为系统整体上呈现出种种非线性特性。从经济学视角看,可以把工程活动看成办事,办事的目的是获得预期的功利,工程的实质是一种事功关系,事与功之间呈现典型的非线性关系,或者事半功倍,或者有事无功,等等。从管理运筹视角看,工程全过程是由大量活动构成的网络,从起点到终点有种种不同路径,它们在工程整体中的影响显著不同,因而有关键路径和非关键路径的区别,这也是一种非线性现象。从系统学视角看,工程使大量异质技术集成化,目的是获取某种整体涌现性,整体可能大于或等于或小于部分之和,表明部分与整体呈非线性关系。从社会学视角看,一项工程牵涉的利害关系是非线性的,同一政策在此时产生正社会效应,在彼时可能产生负社会效应。从哲学视角看,工程过程是多种矛盾的统一体,如水利工程中的疏与导、泄洪与防洪,冶金工程中的绝热和传热,桥梁工程中桥体的摇摆与稳定,等等。矛盾关系是非线性关系的一种哲学表述,工程名家、大家都深谙此道,重视辩证地处理矛盾。

动态性和非线性相结合,使工程过程都呈现为非线性动态系统,非线性动力学所揭示的种种系统特性,如寻的性、稳定性、鲁棒性、非严格的回归性、恒新性(永恒的新颖性)等系统特性,瓶颈、时延、不应期、非线性放大、非线性衰减等系统现象,甚至混沌和分形,在大型复杂工程中应有尽有。

不确定性。大型复杂工程,尤其大型社会工程,都有不确定性。有变化就有不确定性,工程系统自身在变化,环境在变化,系统与环境的关系到变化,都会给工程带来不确定性。不确定性的表现形式多种多样。现代科学揭示的各种不确定性,如偶然性、随机性、灰色性、模糊性、含混性等,甚至混沌性(确定性系统的内在不确定性),都可能出现在工程活动中。非线性、动态性和不确定性是内在相通的,非线性和动态性内在孕育着不确定性。非线性动态系统的恒新性和不确定性相结合,造成系统的某些不可预测性,导致工程具有或大或小的风险性,大型复杂工程都有风险性,以改造社会为目标的重大工程尤其有风险性,工程部门必须有风险意识。

粗略地说,同时具有这些特征的对象就是开放复杂巨系统。现代社会的重大工程都可以视为开放复杂巨系统。

复杂工程系统需有独特的方法论,中国学者在这方面有自己的若干创造性工作。钱学森以《实践论》为哲学依据,提出关于处理开放复杂巨系统问题的方法论,即从定性到定量综合集成法。其实质是把专家体系、数据和信息体系、计算机体系三者结合起来,构成一个高度智能化的大系统,充分发挥这三个体系的整体优势和综合优势,以便把专家群体零散的定性认识转化为关于系统整体的定量认识。具体做法是,建立一个按照系统科学原理组织和运转的研讨厅体系(称为从定性到定量综合集成研讨厅体系),针对一个给定的复杂巨系统问题,设法把有关的专家意见、数据、各种信息用数学模型整合起来,上计算机作模拟试验,将试验结果与专家意见对照,找出问题,改进模型,再上机做模拟试验,再与专家意见对照,如此反复进行,直到把所有专家意见综合起来,最终实现从零散的定性认识到整体的定量认识的飞跃。(《创建系统学》,第192—194页)从定性到定量综合集成法明显具有工程方法论色彩,适用于大型复杂工程的预测和决策,故钱学森又把它称为综合集成工程。

大型地下工程建设的一大难题是隧道围岩稳定性问题。地下工程周围岩体(围岩)是地质体的一部分,软弱围岩常常具有非匀质、非连续、非线性、各向异性、流变性等特点,在施工因素触发下,力学特性复杂多变,工程设计风险大,事故多,也可视为一类开放复杂巨系统。李世辉长期从事地下工程建设,熟悉国内近半个世纪以来隧道工程建设成功与失败的各种事例,积累了丰富经验。受毛泽东“胸中有全局,手中有典型”思想的启发,他从理论上进行总结,参照国外有关资料,形成一套解决隧道围岩稳定性问题的独特方法,称之为复杂工程系统的典型信息方法^①,在实际应用中取得良好效果。

受钱学森和许国志提出的事理概念和美籍华人系统科学家李耀滋提出的人理概念的启发,吸取某些实际工程项目由于忽视人理因素而失败的教训,顾基发于20世纪80年代末提出物理·事理·人理方法论^②,提倡在解决实际问题时做到懂物理、明事理、通人理,并形成一套方法论原则和具体操作步骤。在工程系统中应用物理·事理·人理方法论,明确考虑人理的影响,可以使分析情况、出谋划策、提供选择方案更符合实际,有助于工程决策科学化。

① 李世辉,复杂性工程技术问题研究实践与科学方法论思考,中国工程科学,2002年第11期,第71—81页。

② 顾基发,物理·事理·人理(WSR)系统方法论,载于许国志主编的《系统科学与工程研究》,上海科技教育出版社,2000年,第35—39页。

袁向东

11. 虚拟工程系统

11.1 虚拟工程系统概述

11.1.1 虚拟工程系统的含义

本文所论述的虚拟工程系统包括两种,它们具有不同的含义。

第一种是指对于一个工程系统的全生命周期(包括从策划、调查(勘察)、立项论证、设计、组织协调,以及工程运作、验收和维护,直至消亡的整个过程)或其子系统,利用一切可能的虚拟现实的手段,所建立起来的一种跟所论工程系统或其子系统相对应的、存在于计算机设备与通信网络中的可显示系统。形象地说,这是一种“纸上谈兵”式的工程系统,我们称之为实体虚拟工程系统。

第二种是指工程系统在工程的各要素空间上的投影所形成的系统。此时,所论工程系统在其价值要素空间上的投影,就构成了该工程系统的价值虚拟工程系统,我们可以在这个投影空间中从价值评价和价值选择的角度分析整个工程系统的善恶、优劣和进程。同样,一个工程系统在其技术要素空间上的投影,就构成了该工程系统的技术虚拟工程系统;于是,我们可以从技术的角度来分析该工程系统所含技术流的结构,技术在工程系统中的展现等问题。所有这后一类虚拟工程系统我们称之为要素虚拟工程系统。

11.1.2 虚拟工程系统的意义

为什么要提出虚拟工程系统的概念并加以研究呢?

我们首先叙述实体虚拟工程系统的意义。每一个具体的工程系统都具有独一无二的特性。关于这种唯一性我们需要作些说明。就自然工程系统而言,每一个工程系统都在现实世界的时空中对应一个时空点,不同的工程系统对应不同的时空点,反之亦然。例如,自有人类社会以来,人们建设过数以万计的水库,有哪两座水库在时间和地点上是完全一样的呢?没有!正是由于这种差别,没有哪两座水库的兴建意图、勘察、设计、施工是一样的。其次来看社会工程系统的例子。人们为了有序的生活,需要建立众多的规则,并有各种协调或管理的机构来执行。在人类社会发展到一定的阶段,以选择管理人员为目的的一次次选举活动在全世界各地普遍地发生着,成为一项项社会工程系统。由于各处的地域人文环境、社会习俗的

差异以及技术手段随时间在变化,你不可能找到两个完全相同的选举工程。再看教育工程系统。自人类进入文明时代,各类教育活动层出不穷。按照一般的理解,教育活动本质上是一种学习活动,我们可以把针对一特殊人群,为达到一定学习目标所进行的全部活动看作是一项教育工程系统。由于各特殊人群的原有知识水平不同,学习环境(师资条件,教学设备,生活质量,风俗习惯)有差异,即使是同一个学校、同一年级而不同班的两群学生,从入学到毕业的全过程会有相当的差别,这是司空见惯的现象。正是这种唯一性,使得任何一个工程系统都是不可重复的。每一个工程系统都有其不同于其他(哪怕是同类的)工程系统的鲜明的个性特色。因此,我们不可能完全借鉴已有的知识或完全照搬现存工程系统的经验和做法,来实施新的工程系统。所以,创新便成为所有工程系统的固有特征。

面对新的工程系统,从策划、立项到其终结,人们总是希望在事前对即将发生的活动和结果做到尽可能心中有数。在古代,身处各大文明环境中的人们就建造了大量自然工程系统,如埃及的金字塔,中国的长城和古运河,罗马的斗兽场等等,这些建筑工程系统规模巨大,但按照我们今天的标准并不十分复杂。一些特殊人才凭经验和知识,加上巧思奇想和摸着石头过河的方法,成就了一项项伟大工程。我国当代一位古建筑专家就有这样的才能,若需建一座规模宏大的殿宇,除向他说明该工程的目标,即其用途和型制大小外,它的结构、用料、工序、所需人力就全会出现在他的脑中;无须画图,也不必放大样,他就可以指挥若定地建成所需的殿宇。可以说,这位专家的头脑中存在一个虚拟的工程系统。在工程系统不复杂的时代,存在这类奇才不足为怪。而当某类工程系统逐渐成为一种行业行为时,参与者的数量大大增加,对于适合一般工程人员参与设计和施工的标准方法的需求也变得十分迫切。于是,在各种工程系统中的模拟方法应运而生;如建筑行业和造船行业的放样法,即通过事前的模拟来把握工程的进程,这种技术曾是许多行业普遍的做法。

随着人类工程目标日益复杂,人们已无法在工程开始前不做任何模拟和试验就能对整个工程或其中某些部分的设计做出肯定的方案。如大中型水电站这类自然工程系统的建造,其大坝将河水截流形成湖泊,在需要泄洪时必将影响大坝下游河道水流的流量和流速,从而改变建坝前河水对河岸的冲刷状态,尤其在河道弯曲处。为了确定是否需要某些特定河段做特殊的加固工程,工程技术人员往往需要制作一个实物模型,分析在各种水文条件下该河段受冲刷的状态,并做出合理的设计。这里的实物模型的制作和研究,我们一般称作模拟工程;利用模拟工程来辅助工程系统的设计在工程界是司空见惯的。所以,实施模拟工程就成为完成复杂工程系统不可或缺的一步。再举一项属于社会(战争)工程系统的例子。第二次世界大战后期,德国为研制原子弹的需要,在北欧某国建立了一座生产重水的大型工厂,盟国的决策机构决定派突击小组去炸毁它。毁坏这座工厂的行动可以视为一项(破坏性的)工程系统。为了确保该项工程得以顺利完成,盟国实施了一项模

拟工程。他们根据该厂区的地形和建筑物的详细情报,先在某盟国国内某处,用适当的材料兴建了如那座重水厂同样大小的实体模型。然后,突击队以此模型为对象,对攻击路线、人员配备、爆破过程、撤离方法进行详细的模拟作战。最后在实战中成功地完成了爆炸任务。至于思维工程方面的情况,可以举学习工程系统的例子。教育改革是一项十分复杂又影响巨大的工程,教改的目标能否按预期实现,直接触及社会发展的进程。所以,慎重的做法是先进行小范围的试点,然后逐步修正方案、逐步扩大试验范围,这实际上是在实施教改模拟工程。一般而言,由于模拟工程本身除智力投资外还需较多的物质和能量投资,耗资耗时;同时,对于大型复杂的工程系统,如航天工程系统,很难对其全过程进行模拟,其局限性是明显的。

20 世纪 40 年代电子计算机的诞生,从根本上改变了技术发展的局面,从而也改变了工程的面貌。随着计算机的硬、软件技术不断进展以及网络技术的发达,到 20 世纪晚期,出现了完全不同于上述模拟手段而功能更强大的、能预估工程进展的手段。即,创造一种虚拟的环境,在这种虚拟的环境中,可以用虚拟的形式从事实际的工程系统需要进行的设计、运作(包括制造、装配)、验收、与环境的交互作用(包括产品的生产、销售)、系统的改造和系统的消亡等一切活动——这即是我们所指的虚拟工程系统。虚拟工程系统的优越性是非常吸引人的。在这种系统中,整体性得到了充分的体现,可以避免只见树木不见森林的片面性。我们可以想像这种系统的好处:在实际工程系统开始运作前,通过对相对应的虚拟工程系统的研究,使该工程系统的需求者直接看到工程的总体蓝图、工程运作各环节的细节以及工程的结局和效益,从而做出立项与否的决策。由于各虚拟过程可以比实物模型更容易进行可行性论证和优化处理,从而让我们在实际工程系统运作时能避免各种片面性带来的浪费,节约大量的物质和人力资源,提高整个工程的效率和效益。而且,由于这一过程摆脱实物的桎梏,给想像力留下了更广阔的天地。关于虚拟工程的系统特性,下一节将有更多的说明。

研究要素虚拟工程系统的意义,有以下几点值得关注。在前面的章节中,我们提到工程系统的四要素,即价值、科学、技术、管理等。第二章讨论工程系统的知识结构时,已简述了这些要素各自在工程系统中的地位。我们希望能从整个工程系统的运作过程中,探讨各要素本身的动态特征,以及它们和工程系统的关系。就技术虚拟工程系统而言,当我们把工程系统中的所有技术提炼出来之后,我们能更方便地回答这样的问题:一个工程系统中到底蕴含了多少技术?它们只是无必然联系地聚合在一起,还是有某种力量把它们整合在同一个工程中的?而且,我们能更清楚地看到技术和工程之间的本质区别。研究价值虚拟工程系统,能让我们更明了价值在工程系统运作中的系统特性以及它们跟整个工程系统的关系。

11.1.3 虚拟工程系统的方法

我们这里说的主要是实体虚拟工程系统的方法,它们有相当强的针对性和成

功的应用实例。而研究要素虚拟工程系统的方法仍属于一般系统论的方法。

实体虚拟工程系统的出现不是一蹴而就的,而是随着计算机技术的进步和应用范围的扩大逐渐形成的。较早出现的是用来辅助工程系统设计和管理的技術,如计算机辅助设计(computer aided design,缩写为 CAD),计算机辅助制造(computer aided manufacturing,缩写为 CAM)和计算机辅助工程(computer aided engineering,缩写为 CAE)等技术。它们是走向实现虚拟工程系统的前兆。所谓 CAD 是指设计人员利用计算机,以人机交互的方式,高效地完成设计任务。这项技术已在机械工程(如,飞机、汽车外形设计),电子工程(如,集成电路设计),建筑工程(如,大型建筑物和桥梁设计)中得到广泛应用。应该注意到,在计算机上完成设计模型的构造、分析、优化并输出设计结果,往往涉及复杂的数值计算和多种设计方案的比较,这是单靠手工设计所无法完成的,是人机整合的一种表现。另一方面,CAD 的目标一般是工程系统中单项产品或局部项目的静态设计,尚未进入工程系统的动态过程。而所谓的 CAM,则是指通过计算机来规划、管理和控制制造过程。这项技术是适应企业多品种、小批量的柔性生产机制应运而生的。它依据资源条件和工程目标,利用计算机相应的软件,制定经营决策,编制生产计划,控制生产活动;其功能涉及物质供应、财务管理、库存管理、成本核算以及市场营销等工程全过程中的众多环节。近年来,在 CAD 和 CAM 的基础上,发展出了一种方法,即所谓的 CAE;它是以计算机仿真为手段的工程分析法。工程分析法是指评价工程产品性能指标的方法,产品性能指标涉及产品的功能、精度、效率、寿命和可靠性等方面,主要方法有有限元法、边界元法、集中参数法等等。以上三种技术,使我们在一项真实的工程系统开始前就能利用计算机及相应的强大软件,对工程中的各个部分,如设计、运行和管理,分别做出精细的分析。但是,将工程系统作为一个整体的分析,上述方法尚无能为力。系统建模(system modelling)和系统仿真(system simulation)技术的出现,正是朝这一方向迈出的关键一步。

所谓系统建模是指对实际系统,经机理分析,根据已有的统计数据和试验,建立起反映实际系统本质特征的系统模型。通常,我们能将系统模型转换为仿真模型。这就是所谓的系统仿真。它是我们迈向虚拟工程系统的必不可少的步骤。在工程领域,仿真技术可大致分为以下几类:①按学科性质可分为数学仿真、物理仿真、数学物理混合仿真;②按手段可分为模拟计算机仿真、数字计算机仿真、数字—模拟机混合仿真;③按时间特征可分为实时仿真、超实时仿真、亚实时仿真;④按系统性质可分为连续系统仿真、离散系统仿真。仿真技术最本质的特点是把人认识客观事物的过程纳入人造的可控的模型之中。仿真模型可以应用到许多种类的工程项目中,达到即经济、省时又安全、高效的目的。有报道称,某导弹研制工程按常规的靶场试验,需进行 3000 发实弹试验,实验周期达 2 年,耗资达 1.2 亿美元;而同样进行 3000 发仿真打靶试验,实验周期只需 3 周,耗资仅 10 万美元。应该注意,以上所有技术虽然提供了强大的辅助我们分析、规划、实施工程的手段,但往往

不能直观地在我们眼前展现工程本身。我们利用这些技术得到的是数字和框架图,而非真实事物的现场实景动态图。而朝着这后一目标前进的是人一机系统的研究。所谓人一机系统是指为了实现整体性目标而开发的、具有通畅的人机交互作用的一种系统,它的基础是人体科学和工程科学各种知识的结合;其中最引人注目的技术即是虚拟现实(virtual reality,缩写为 VR)技术。

VR 技术在 20 世纪 80 年代后期才走出实验室,进入实用阶段。它可以利用计算机和各种视、听、触、嗅设备,创造一种虚拟的三维世界(它可以是真实世界的仿真,也可以是人们想像中的非真实世界的仿真),人在上述视听触嗅设备的辅助下,可以在该虚拟世界中如同在被仿真的真实世界或非真实世界中一样身临其境、行动自如。此时,人和机器构成了一个虚拟现实系统(Virtual reality system,简记为 VRS)。我们可以想像一下它的理想形态:操作者带着头盔显示器,穿着数据服,耳中配有立体声耳机,手带数据手套,脚踏数据踏板。所有这些传感装置都和功能强大的计算机相连接。根据指令,操作者“进入”一座虚拟的大厦,其中摆放有各种家具和装饰物,而且人来人往。操作者不仅能看到所有这些东西,而且能跟它们互动交流,甚至操纵它们;如看到一台音响设备,你打开开关,于是便能听到美妙的音乐,你可以随心所欲地让它播放你想听到的乐曲;你还能触摸所见到的物件,感觉其质感;你甚至能嗅到大厅内摆放的花所发出的香气。当操作者不满意某件家具摆放的位置,便能轻易地把它放到令他喜欢的地方;要是窗户的造型不欣赏,也可立刻加以修改。人们总结说,VRS 具备三大特征:临场参与性(immersion,也译作临境性、沉浸性)、交互性(interaction)和想像性(imagination)。随着信息技术的发展,在 VRS 的基础上又出现了分布式虚拟现实系统(简记为 DVRS),它能够支持多位操作者实时通过信息网络进行交互沟通:每一位操作者都在一个虚拟现实环境中(可以是多位操作者处于同一个虚拟环境),通过计算机与其他操作者进行交互沟通,共享信息。在 DVRS 中,世界各地的工程人员可以通过信息的全球网或局域网进行协作,共同完成三维模型的设计及其他工程任务的规划。DVRS 的应用前景十分广泛,在远程教育、设计协作、电子商务、交互式娱乐、虚拟社区等方面都存在巨大的潜力。这一切为实体虚拟工程系统的研究提供了有效的技术支撑。

11.2 实体虚拟工程系统

如上所述,实体虚拟工程系统是我们对现实世界中各类工程系统虚拟化的结果。这种虚拟不是对完成了的工程的静态虚拟,而是对工程系统自始至终的动态虚拟。人的思想和知识以人一机交互的方式融入虚拟系统之中,随着系统的生长发育,不断突现新的思想和知识。就目前的工程需求和技术条件而言,跟自然工程系统相对应的实体虚拟工程系统(可以称为自然虚拟工程系统)的研究处于相当活

跃的状态,以下的论述将主要针对自然虚拟工程系统,而且辅以例子加以说明。

11.2.1 实体(自然)虚拟工程系统的结构

本书第二章已论述了一般工程系统的结构。这里我们关心的是实体虚拟工程系统和跟它相应的工程系统的对应结构关系。以自然工程系统和自然虚拟工程系统为例,图 11.1 大致勾画出两者间的结构关系。

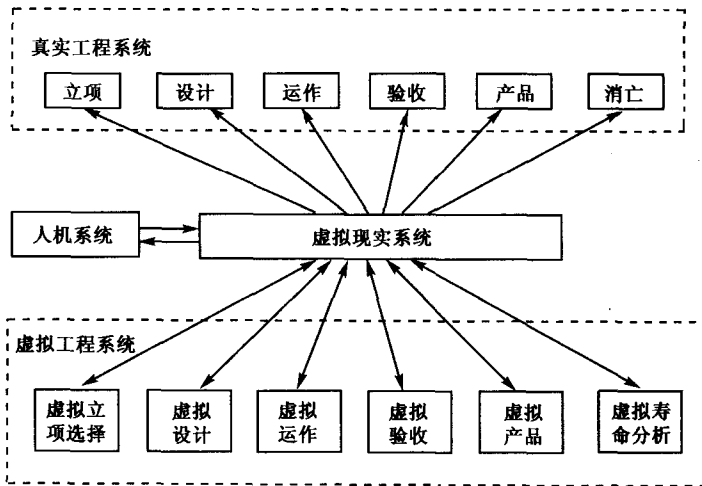


图 11.1 真实工程系统与虚拟工程系统结构关系

图的上部表达了自然工程系统的全寿命过程的简单框图。我们暂以立项作为一项工程的起点[另一种说法是以策划作为开始,经调查(勘察)后才到立项。当然,我们可以把策划、调查看成是包含在立项内的必要环节,两种说法就一致了]。图的下部给出了相应的自然虚拟工程系统全寿命过程的框图。其中,“虚拟立项选择”跟上部的“立项”相呼应,“虚拟运作”包括虚拟制造和虚拟装配(关于这两项技术我们还将给出解释)。图的中间部分反映了使两者产生对应关系的关键结构。简单地说它就是人机交互下经仿真而实现的虚拟现实系统。

关于人机交互以及上文提到的人机系统,其中的人是以何种形态又是如何进入我们的虚拟系统的呢?在 11.1.3 中,我们曾提到一系列理想的灵敏传感设备(头盔显示器,数据服,立体声耳机,数据手套,数据踏板等等),真实的人通过这些设备以虚拟人的形态进入虚拟环境,真实人的思想和知识通过对这些设备的控制进入虚拟系统。

11.2.2 实体(自然)虚拟工程系统的功能

我们知道,现代计算机的数据库技术已具备强大的功能,计算机可以存储海量的信息,现有的人类知识以各种方式存在于其中,而且能够极方便的被分类、检索和利用。所谓的人机交互或人机系统中的“机”,已不是普通意义上的一堆物质性

的东西,而是蕴含了人类文化财富的知识库。所以,人机交互或人机系统原则上可进行各种思想和知识的碰撞,当许多人(包括工程师、科学家、管理者、施工者等)为同一个工程目标、同时进入网络虚拟现实系统时,该系统就可能具备某种自组织特性,在工程设计、设备制造、工程管理等方 面突现新的思想火花。这可能是自然虚拟工程系统最引人注目的一种功能。下面给出在虚拟工程系统中,知识的自组织创新的一种简单模式(图 11.2)。

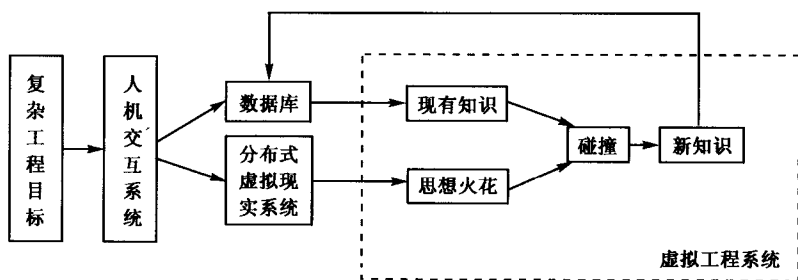


图 11.2 虚拟工程系统中知识的自组织创新模式

实体虚拟工程系统还有其他丰富的功能,如上述结构图中所示的虚拟设计、虚拟运作、虚拟检验等等。在这里我们重点阐释含于虚拟运作中的虚拟制造和虚拟装配两种功能。

(1)虚拟制造。据清华大学工业工程网络学习资源中心提供的资料,“虚拟制造”是世界市场由相对稳定的逐步演变的状态转变为动态多变的状态的产物,以解决 TQCS 难题。所谓 TQCS 难题,是指能达到最快的上市时间(Time to Market)、最好的质量(Quality)、最低的成本(Cost)和最优的服务(Service)。在 20 世纪 80 年代初,出现了以信息集成为核心的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, 缩写为 CIMS);到 90 年代就出现了虚拟制造的概念,但到目前为止,关于虚拟制造还没有统一的定义。上述资料给出了这样的定义:“虚拟制造是实际制造过程在计算机上的本质实现,即采用计算机仿真与虚拟现实技术,在计算机上有一群工作小组协同工作,实现产品的设计、工艺规划、加工制造、性能分析、质量检验以及企业各级过程的管理与控制等产品制造的本质过程,以增强制造过程各级的决策与控制能力。”不难看出,这里定义的虚拟制造实际上本身也构成一个系统,定义中所反映的各要素及要素间的关系结构,跟我们上面给出的自然虚拟工程的结构是雷同的。上述资料还从原则上指出了虚拟制造系统是实际制造系统在虚拟环境中的映射:实际制造系统(Real Manufacturing System, 缩写为 RMS)可抽象为实际物理系统(Real Physical System, 缩写为 RPS。它由工程中使用的原材料、各种机械、各种电器等构成)、实际信息系统(Real Information System, 缩写为 RIS。由各类处理信息的硬件和软件等集成)和实际控制系统(Real Control System, 缩写为 RCS。由各种检测、鉴别和反馈装置集成)。它们分别映射为虚拟物理子系统(由在计算机中存在并能显示的虚拟仿真物体集成)、虚拟信

息子系统(通过传感网络、通信网络、网格网络、语义网络、自组织网络、主动网络和安全网络等实现的信息集成)和虚拟控制子系统(同样由各类用于控制的信息网络集成)。从过程的角度看,虚拟制造系统可分为三部分:以设计为核心的子过程、以生产为核心的子过程和以控制为核心的子过程。三者形成一个具有反馈和自我调节功能的环路(图 11.3)。

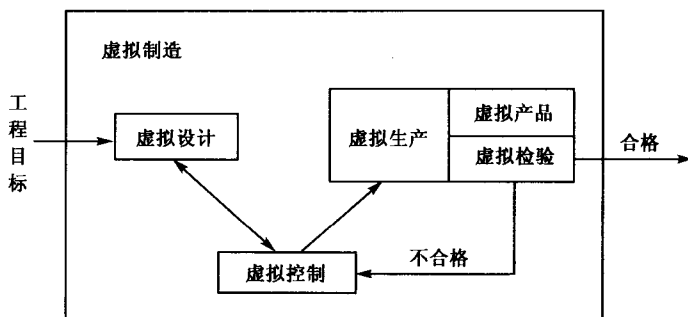


图 11.3 虚拟制造系统过程回路

虚拟制造目前已开始在工程实践中使用。人们最经常介绍的是美国波音飞机公司开发大型商用飞机波音 777 的例子。开发制造大型客机是一项巨大复杂的工程系统,除飞机外形的空气动力学设计外,还涉及几百万个部件的设计和制造;要把这几百万个部件装配成一架完整的飞机,其复杂程度可想而知。他们在确定了该型飞机的性能目标后,成功地构筑了相应的虚拟制造系统。据称,他们成功的关键是组织综合设计队伍(共 238 个设计研制团队)充分利用了三维数字化技术及各种网络技术。设计人员完全在计算机上完成了从飞机整体设计,零部件设计、制造和装配,飞机性能测试到飞机试飞的全部虚拟过程。这使得该飞机的研制周期从常规的 8 年缩减为 5 年。

(2)虚拟装配。李翔先生在互联网上发表了一篇综述文章,题为“基于系统的虚拟装配技术应用研究”(2006. 8. 30.),其中提到两个有代表性的关于虚拟装配的定义。一个强调虚拟装配是“零件模型按约束关系进行重新定位的过程”;另一个说“虚拟装配是根据产品设计的形状特性、精度特性,真实地模拟产品三维装配过程,并允许用户以交互方式控制产品的三维真实模拟装配过程”。这些模拟过程应该都是在计算机上完成的。作者还就飞机研制的特点给出了一个虚拟装配在该领域的具体定义:“虚拟装配是在计算机上完成飞机零部件的实体制造,进行计算机装配、干涉分析等多次协调的设计过程,并通过统一的产品数据管理,实现飞机三维设计过程与飞机零部件制造、装配过程的高度统一。”不难看出,这一系列过程本身已构成一个系统。一般而言,它是比虚拟制造低一层次的子系统。任何一个复杂的虚拟产品,都是由许许多多根据虚拟设计制造的虚拟部件装配而成的。在设计阶段,不仅要考虑零部件的可制造性,还必须同时关注这些零部件能否安装在一起成为一件产品。实际上,虚拟装配系统能使设计团队从一开始就在虚拟装配环

境中,考虑如何有效地控制设计过程使最终产品得以装配成型。据介绍,由于采用了虚拟装配的技术,波音 777 的设计错误修改率较过去同类机型减少了百分之九十,设计更改和返工率减少了百分之五十以上,不合格品减少了百分之五十至九十。

上述对虚拟制造和虚拟装配的简单描述表明,自然虚拟工程系统确实具备强大的功能,对制造业开始产生革命性的影响。我们还要指出,对各种制造活动的要素(产品、工艺规划、生产计划和调度等等)及其全过程建立可靠的数字信息模型,乃是在虚拟环境中实现虚拟制造的重要基础;这方面还有大量挑战性的工作等待人们去研究和开发。

11.2.3 其他实体虚拟工程系统

目前,对另两类实体虚拟工程系统,即由社会工程系统虚拟化而得的虚拟系统(不妨称为社会虚拟工程系统),以及由思维工程系统虚拟化而得的虚拟系统(可称为思维虚拟工程系统)的研究还处于相对贫乏的状态,现成的例证不多。本文仅提出一些粗浅的想法。

(1)关于社会虚拟工程系统。我们所论的社会工程系统,主要涉及各种制度、规则(包括法律)、行动计划和行为规范的制定和执行。例如,各类法律的制定和执行,各种规章制度的建立和执行,各种有目的有计划的违法行动的策划和实施,各级各类的选举活动,全民公决的规划与实现,以及战争演习和战争行动等等,都可以视为社会工程。它们能不能虚拟化呢?有的尚无眉目,有的已见端倪。例 1,我国目前正在进行的新工资制度的制定和执行,就可看成是一项工资改革工程,它涉及全国各行各业各类人员的劳动所得这一庞大系统。这项工程的目标是制定尽可能公平合理地分配国家财富的工资制度。从现有的技术条件看,有可能构建与之相对应的虚拟化系统:依据现有领取工资的人员数及可能发生的变化,进行各种可能的分级,设定各级工资标准,估算财政收支的变化和承受力,以及工资调整后对市场的影响的分析……建立相应的模型和仿真手段,从而事先在计算机上实现虚拟的工资制度改革,并对各种虚拟改革方案的后果进行比较和评价,以指导真实工资改革工程的进行。例 2,虚拟现实技术在军事领域得到广泛的应用。林京彤在《虚拟现实技术——序》中指出,美国军方从 20 世纪 90 年代起,在四个方面应用了虚拟现实技术。“一是虚拟战场环境。即通过相应的三维战场环境图形图像库,包括作战背景、战地场景、各种武器装备和作战人员等,为使用者创造一种险象环生、几近真实的立体战场环境,以增强其临场感,提高训练质量。二是进行单兵模拟训练,如飞行训练模拟器,能产生视觉控制,能处理三维实时交互图形,且有图形以外的声音和触感,不但能以正常方式操纵和控制飞行器,还能处理虚拟现实中飞机以外的各种情况,如气球的威胁、导弹的发射轨迹等。三是实施诸军兵种联合演习,建立一个‘虚拟战场’,使参战双方同处其中,根据虚拟环境中各种情况及其变化,

‘调兵遣将’、‘斗智斗勇’，实施‘真实’的对抗演习。四是进行指挥员训练。”其中第三方面所指的显然是一种虚拟军事演习工程系统。据称，美国曾利用这类系统对前南斯拉夫分裂后的作战各方进行调停，让各方从虚拟战场系统的演化看到，凭各方现有的装备、人员和可能的战略战术，任何一方都不可能达到自己战胜对方的目标，因而促使各方达成了停战的协议。以上两例说明虚拟现实技术在社会工程系统的虚拟化方面是可以有所作为的。但应指出，由于社会工程系统往往过于复杂，在尚不能建立相应的数字模型的领域，其虚拟化目前仍是不可及的。

(2)关于思维虚拟工程系统。这是我们目前了解最少的系统，在此仅提出极粗浅的一点想法。首先，我们通过一个例子来加深对思维工程系统的印象，即所谓的“软件工程”。陆汝黔在《计算机入门》中形象地指出，如果把计算机比做人，那么其主机部分就相当于人的大脑，其外部设备相当于躯体，而软件相当于计算机的智慧。软件在其诞生后相当长的时期内，一直凭个人的才智和技巧来编制；随着对软件的数量和质量需求的迅速提升，软件的生产开始由“单纯依靠经验的手工艺方式过渡到以科学原理指导的现代工业生产方式”，于是出现了软件工程。显然，软件工程的对象是知识(包括推理)而不是物质或人的活动。软件工程的全生命周期所包含的阶段和其他工程雷同：①明确所要生产的软件的目的和性能；②软件设计；③编制程序(即工程运作)；④验收；⑤使用和维护。我们把软件工程归类在思维工程范畴内是合理的。陆汝黔在上述书中还指出，软件生产作为一种工程活动，第一、第二和第五阶段应受到特别的关注。因为在过去的手工艺生产方式时期，第一和第五两个阶段常遭忽略，第二阶段的设计也做得不够精细，而把主要注意力集中在编程上；其后果是使许多软件“先天不足(缺乏确切的要求、定义和周到的设计)和后天失调(缺乏必要的验收和维护，尤其是维护)，形成严重的质量后果。”自软件生产纳入工程范畴，那些薄弱环节得到极大的加强，使软件生产迈上了新的台阶。现在我们自问什么是这类思维工程的虚拟化？按照本章前面的论述，要虚拟化就需对上述各个阶段的活动建立数字模型和相应的虚拟现实环境，而软件工程最关键的要素是人的复杂的思维活动，对此目前尚缺乏相关的理论来刻画和了解，因而就整体而论，我们尚无法对其虚拟化。

当然，并非所有的思维工程都无法虚拟化。我们以人类的一些基本数学活动为例加以说明。数学活动是典型的思维活动。数学的对象，包括最基本的数和形，都是极抽象的概念。我们习惯使用的数的形式1、2、3、……只是用简单具体的符号来表达思维中的数的概念，而并非是这些数在客观世界里相应的实物。同样，哪怕是最简单的几何图形，如点、线、面，它们都是只存在于思维中的抽象概念：只表示空间位置而不占空间大小的几何点在现实世界中并不存在；没有任何厚度的几何直线也一样只是思维中纯粹的形式，无法在现实世界中做实验。对于这样的数学概念，如果没有专门的数学符号给出它们在现实世界中的具体化身，将大大阻碍数学的发展。原苏联数学家亚历山大洛夫说，“没有专门的符号和公式简直就不可

能有现代数学”(《数学,它的内容、方法和意义》,第一卷,第11页)。所以,人们从事数学活动时,往往借用各种数学符号和公式,用推理的方法,从一些结论导出另外的结论。从古至今,有两类基本的数学活动值得关注:数值计算和定理证明。数值计算分心算和借助工具的计算。心算表现为纯思维活动;而后者表现为人和工具的交互活动。计算工具的演化经历了结绳、书写泥板、算盘、计算尺、机械式计算器、电子计算机、计算网络等诸多阶段。请注意,利用工具的数值计算,把在人脑中进行的相关思维活动通过人机交互手段实体化了。其中的电子计算机跟之前的工具又有本质的差别。电子计算机之所以被称为电脑,就在于它本身在某种程度上具备了大脑思维的部分功能:由运算器、控制器和存储器构成的计算机主机部分具备了记忆功能和计算功能。随着计算机硬件和软件、计算数学以及计算机科学的发展,我们已经能够完成极其复杂和规模极其巨大的数值计算工程——单靠手工计算是无法企及的。所以,就思维工程而言,将思维(精神)活动通过合适的工具加以实体化,恰好就是它的虚拟化。

数学中的定理证明,也是靠思维活动进行的。吴文俊在“数学的机械化”(《吴文俊文集》,山东教育出版社,1986,280—288)一文中问:定理的证明是不是也能像计算机那样机械化,因而把巧而难的证明,化为虽繁而简的劳动呢?当时,吴文俊提出了一条切实可行证明几何定理的道路:“第一步是引进坐标,然后把需证的定理中的假设与终结部分都用坐标间的代数关系来表示。(当时针对的定理局限于这些代数关系都是多项式等式关系)第二步是通过代表假设的多项式关系把终结多项式中的坐标逐个消去,如果消去的结果为零,即表明定理正确,否则再作进一步检查。上述两步都可以机械与刻板地进行。根据我们的机械化方法编成程序,以在计算机上实现机器证明并无实质上的困难。”不难看出,定理的机械化证明也具备工程的特点。首先要确定目标(证什么定理),接着设计证明的路径和方法,然后在计算机上运作,再对结果进行检验。这类思维工程中的部分精神活动已可借助计算机达到实体化了。

11.3 要素虚拟工程系统

要素虚拟工程系统是指工程系统在其要素空间上的投影,并要求该投影本身构成一个系统。我们认定的要素空间有四个,即价值空间、科学空间、技术空间和管理空间。我们将着重讨论工程系统在价值空间以及在技术空间上的投影,因为它们具有明显的系统特色,并被分别称为价值虚拟工程系统和技术虚拟工程系统。

11.3.1 价值虚拟工程系统

(1) 价值的含义

在我们所指的工程系统范畴内讨论的价值,不是一般所谓的“凝结在商品中的

一般的、无差别的人类劳动”，也不是用货币表示的商品的价格，而是指一个将要实施的行动的结果的有益程度。因此，对工程活动的价值分析是在工程结果出现前进行的。我们从哪几个方面来评价一个行动的结果的有益程度呢？这牵涉到我们所确定的价值空间的结构。

(2) 价值空间的结构

我们的价值分析将在一个有四个维度的价值空间中进行，各个维度分别是生存价值维、经济价值维、道德价值维和审美价值维。一个工程系统在这样的价值空间上的投影构成我们所谓的价值虚拟工程系统。对于出现在工程系统中的所有事物，我们至少要从这四个方面来看待它们的价值，缺一不可。经济价值是目前讨论企业活动(包括工程活动)时人们关心的重点，因而为公众所熟知(下面在讨论价值链时将有更多的论述)；它涉及用“少的投入”去获得“多的效益”的问题，因此也可以称为效益价值。道德价值是一个非常广义的概念。自 20 世纪下半叶始，工业化带来的对自然环境和人文环境的破坏，引起了全社会的高度关注；工程建设如不顾及保护环境，不仅关系到当代人的生活质量，而且关系到子孙后代的延续和生存。因此，可能破坏环境的工程的道德价值就可能取负值。道德价值还跟公平和公正相关联：有学者认为，公平公正是坚守道德底线的保证，在工程活动中能否保持公平公正是评价和衡量该工程道德价值的重要标准。审美价值在许多工程中受到特别青睐。例如法国卢浮宫的改造工程，它是由美国华裔建筑学家贝聿铭设计的——最著名的是宫前广场上的玻璃金字塔。按贝聿铭的观念，一项好的建筑工程必须是结构、功能和审美的统一。当今对建筑工程的美学标准都有极高的要求。在某些情况下，人们会在具体的工程活动中忽略对审美价值的考虑，此时往往是其他方面的价值考虑掩盖了对审美的需求。我们还记得在备战的环境下拆除北京古城墙的工程。北京作为中国辽、金、元、明、清五朝古都，包括城墙在内的古建筑群有着极高的审美价值，但在当年却以有碍人员疏散为由被拆除了。关于一个工程系统的生存价值，我们指的是它是否具有存在或继续存在的需求，它在各种价值中占有主导地位。(参见图 11.4)

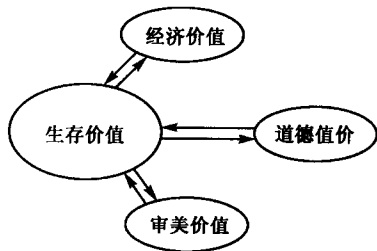


图 11.4 价值空间结构

关于一个工程系统的生存价值，我们指的是它是否具有存在或继续存在的需求，它在各种价值中占有主导地位。(参见图 11.4)

(3) 生存价值

当一项工程的标识(参见《技术系统论》第 74 页。此时我们把工程看成是人工产品，其标识即是它的名称。)出现时，首先面临的是该标识对应的工程有无生存的必要性这一生死攸关的问题。一项工程有无生存的必要性跟外环境对它的需求直接相关。需求是衡量生存价值的指标：无需求相当于生存价值为零，有需求相当于生存价值大于零，需求时限越急迫、需求域(得益人群的范围)越广，相应的生存价值也越高。一般而论，生存价值不取负值。同时，对于工程中的所有事物同样存在是否

有必要在这项工程中存在的问题,即其生存价值是否大于零。

这里须说明需求和功能之间的区别。对一项工程的需求肯定跟该工程的功能有极紧密的联系:对工程的需求首先是对其功能的需求,谁会对一项无功能的工程有需求呢!因此,人们往往觉得对工程的需求就是对工程的功能的需求,于是就视需求等同于功能。这种看法的局限在于功能本身并不能涵盖“需求”的时空特征。在某时某河流某处建一座水电站,其功能是能发多少电,能灌溉多少土地,能调节多大的水量,等等。此时我们只能说其生存价值可能大于零。若当地已有充足的电力供应,有良好的灌溉系统,从未有过旱涝灾害,其他地域也不需要它的电力支援,那么,实际上当时并无在此处修建这样一座水电站的需求,该工程在此时此地的生存价值为零。如果一定要用“功能”这个词来刻画生存价值,至少需在“功能”前加个形容词“时效”,即大致可以说生存价值主要由时效功能所决定。

(4) 生存价值与其他价值的关系

从上面对各价值维的描述可知,其他维价值应是整合于生存价值之内的,它们每一个都不能单独替代生存价值,但都会对生存价值产生影响。经济价值的大小标识工程创造财富的能力,它可能取正值、负值和零。当一项工程在总体上创造的财富大于所消耗的财富,其经济价值大于零;否则将取零或负值。历史上得不偿失的工程并不少见。在《技术系统论》中所举的铱星通讯系统退出运行便是一例:它虽然技术含量高,高质量通讯的需求仍然存在,但因使用成本过高,即其经济价值为负值,致使其生存价值趋于零而暂时退出历史舞台。道德价值影响生存价值的例子比比皆是。许多针对弱势群体的社会福利工程(如养老院工程,收容院工程等)虽无直接的经济价值,但有很高的道德价值而有必要生存。相反,有些所谓的“政绩工程”常受到谴责,因为它们只满足极少数行政官员的政绩需求而不顾广大百姓的切身利益,有失基本的公平公正,其道德价值取负值(往往此类工程的经济价值也极低或取负值),因此它们虽为那些官员所急需,却不具备生存价值。审美价值在某些景观工程中有举足轻重的分量,能直接决定其生存价值。这里仍举罗浮宫改造工程为例:古色古香的罗浮宫能和超现代的玻璃金字塔一起达到高的审美价值吗?据称,法国公众和建筑专家用了两年多时间的争论才认可了贝聿铭的这一设计的审美需求。当然,审美价值的确认是个极其复杂的问题:个体的审美需求千差万别,如何达到群体一致的审美需求,尚无一定的规则可循。总之,主要由需求决定的生存价值跟其他价值相互影响,整合成一个供工程系统演绎的价值空间。

11.3.2 价值链和价值网

价值链最早是针对企业追求竞争优势提出的一个概念。1985年,美国哈佛大学商学院教授迈克尔·波特(Michael E. Porter)认为每一个企业都是设计、生产、销售、发送和维护产品的各种活动的集合体,它们可以用一个价值链来刻画:所有这些活动在价值增值过程中有相对独立性又相互联系,构成一个创造价值的动态

过程,即价值链(Value Chain)。他将直接和间接创造价值的活动分别称为主活动(Primary Activity)和支持活动(Support Activity)(参见图 11.5),并指明了各种活动的内容。

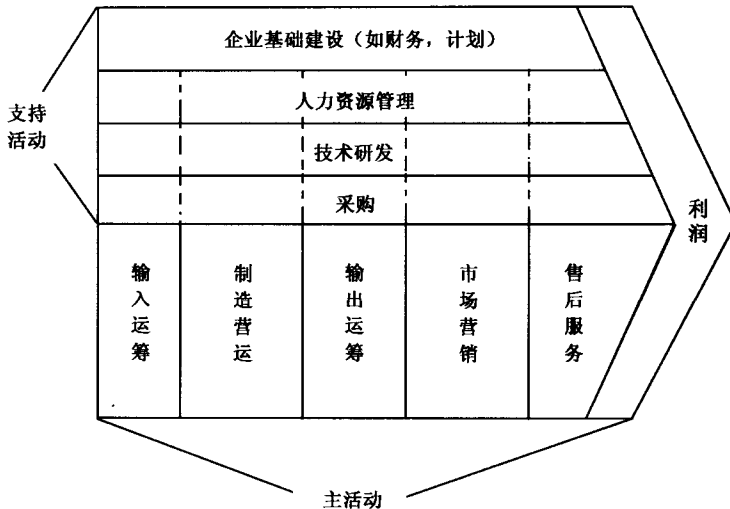


图 11.5 价值链

我们罗列图中各项活动的具体内容如下：

- | | |
|------|--|
| 主活动 | 输入运筹:原材料的接收和仓储,需要时分送相应的制造部门;
制造营运:将输入转变为终极产品和服务;
输出运筹:终极产品的仓储和发送;
市场营销:辨识消费者并实现销售;
售后服务:产品和服务销售给消费者后对消费者的支持。 |
| 支持活动 | 企业基础建设:组织机构,控制系统,企业文化等;
人力资源管理:人员招收、聘用、培训、发展和付酬;
技术研发:支持开发创造价值的各种技术;
采购:购买输入物,如各种原材料、补给品和装备。 |

不难看出,波特把企业各种活动抽象为相应的价值创造过程,基本上也适用于工程系统。但由于他主要关心利润的创收,因此他的价值链的概念比较狭窄,位于我们的价值空间中的经济价值维上。他的思想是颇具启发性的:把所有的企业活动用价值创造这条链联结成一个整体。这一思想扩展到对工程系统的分析时,应在我们的四维价值空间里考虑问题。工程系统在价值空间的投影应构筑出包含生存价值、经济价值、道德价值和审美价值在内的相互影响的价值网。这张网反映工程系统中的各种事务所对应的时效功能、经济效益、公平公正和唯美程度。

由于四种价值即相互独立又有十分复杂的相互影响,我们尚不知如何来刻画适用于一般工程系统的价值网的结构。对于每个不同的工程系统的价值网的结构

应做具体的分析。这里只极粗浅地提出一种供进一步讨论的设想。我们可以设想在工程的价值空间里有若干价值吸引中心,它们可分类为生存吸引中心、功效吸引中心、道德吸引中心和审美吸引中心。生存吸引中心标示工程所处时空所蕴含的最强烈的功能需求。功效吸引中心标示当时当地能获得的最先进的技术。道德吸引中心标示当时当地流行的道德标准。审美吸引中心标识当时当地的群体审美追求。位于中心处的工程事物可达到价值的极值。各中心都有自己的影响区域,工程中的事物离中心越远,其价值评价越困难;区域边界的复杂程度随工程的复杂程度而定。位于边界上的事物的价值变化可能处于混沌状态,无法做出预估。我们希望能够对工程系统找出那些吸引中心并确定其边界,进而对处于边界上的事物给予特别细致的分析和判断,以尽可能对这些事物的价值做出正确的评价,以避免在工程进展中价值的丧失。

上述设想过于空泛,现试举一例加以说明。为给国际空间站补充给养和更换驻站宇航员,产生了发射一架航天飞机执行这次空间飞行任务的需求。从确定发射到安全返回可看成是一个空间运输工程系统。由于这是一次常规发射,此时的生存价值主要取决于气象状况。因此,属于该工程系统内的天气预报子系统成为一个生存吸引中心。航天飞机的运输功能有赖于它才能实现。此时的生存吸引中心标识准确的气象预报。围绕发射的其他功能需求处于该中心的周围,如运载火箭燃料的数量与质量,航天飞机与火箭挂接牢度等。航天飞机返回大气层的隔热组件的安装似乎离该吸引中心较远,处于该中心影响区域的边缘。有一个时期,人们并没有注意到它有极高的生存价值而未给予足够的重视,结果酿成了哥伦比亚号航天飞机的悲剧。由航天飞机执行的运输工程中,其道德价值吸引中心显然是保证宇航员的生命安全,任何其他价值跟它发生冲突时都必须退居次位。而审美价值在这个例子中则处于极低的量值。

必须承认,对工程各类价值的评价是个极其复杂的课题。不适当的价值评价可能带来严重的工程后果。如在 20 世纪 30 年代至 40 年代,美国桥梁设计界的某些设计师曾崇尚桥梁的纤细柔性美,并把这种审美价值提高到不恰当的地位。1940 年启用的美国华盛顿州西雅图南部的塔科马海峡大桥,出于审美动机和某种程度上的经济考虑,该桥的细窄状态达到了前所未有的程度,宽度与跨度之比为 1:72。在长度和用途上跟它同一等级的乔治·华盛顿大桥和金门大桥的宽度与跨度比分别为 1:33 和 1:47。其结果是风致震动不仅扭曲了桥面,还导致了桥的彻底破坏(参见《技术创新进化论》第 13 章:“技术类型进化中真实世界变异—选择:历史实例。”该文作者:沃尔特·G. 温琴蒂。)

11.3.3 技术虚拟工程系统

在工程系统中,技术要素占有重要地位,对复杂的工程系统尤其如此。在讨论技术虚拟工程系统前,先说明在我们的知识体系中工程和技术之间的关系是合适的。

(1)工程和技术。《简明不列颠百科全书》关于“工程”的条目称:工程是“应用科学知识使自然资源最佳地为人类服务的一种专门技术”,按这种定义,本书中的自然工程便成为一种专门技术了。国内学者对工程给出过多种定义,有的也突出了工程和技术共同之处。殷瑞钰院士指出,从本质上看“工程是一种核心专业技术或几种专业核心技术加上相配套的专业技术所构成的集成性知识体系”;强调工程在知识层面上是一种技术体系。但在我们的知识体系中,工程和技术有原则的区别。在我们的《技术系统论》中,技术被定义为是有明确输入和输出的可行程序,是一种定态的知识体。而工程被视为一种具有创新能力的知识流,它是动态的。通过价值网中蕴含的价值评价和价值选择,工程的各个阶段成为已有知识展现和新知识突现的知识整合体。我们在讨论实体(自然)虚拟工程系统时给出的系统中知识的自组织创新模式,从一个侧面说明了这一动态过程。

(2)技术在工程中的展现。技术作为知识的一种形态,在现代社会越来越受到重视。海德格尔在分析新时代的技术时,认为“技术不仅仅是手段”,它“本身参与到自然、现实和世界的构造中”。他称技术的这种本质特征为技术的“展现”。(参见《海德格尔分析新时代的技术》,冈特·绍伊博尔德著,宋祖良译。中国社会科学出版社,1998)。海德格尔讨论技术的展现时,强调了新时代的技术(也称现代技术)和过去的技术有本质的不同。这里,我们暂且不论这种差别,而只关心技术通过什么途径来展现。在《技术系统论》中,我们曾阐释了技术整合的概念。通过整合,技术具备了参与到自然、现实和世界的条件;而真正地参与到世界的构造中还需在工程中实现。我们以一个理想化的例子来加以说明。

在某时某地出现了改造该地域经济和生态的需求:电力极度缺乏,而且在相当长的时间内无法从该地域外获得足够的电力;粮食生产不足;工厂污染物排放超标;技术人才匮乏……已严重影响该地域的生产和生活。于是一项经济与生态改造工程开始了。它涉及到能源建设,水利建设,产业结构调整,治理污染源,培养和引进人才等等,限制条件是有限的财政资源。这显然是一个综合了经济和生态需求的复杂工程系统。就能源建设而言,有多项技术可供选择:因为该地域内即有可利用的水力和煤炭资源,又有可观的风力和地热资源,于是水力发电技术、火力发电技术、风力发电技术和地热发电技术都具备了在该工程中展现的条件。这时,价值杠杆起到了选择的作用。经过仔细的勘探,该地的煤炭资源大大超过了其他动力资源,使用火力发电技术将获得最大的经济价值,但这跟治理污染发生矛盾,而且由于大气污染必定会影响该地正在兴起的旅游业,从而使它的道德价值和审美价值大大降低。对价值的综合评价结果,认为单独采用该项技术在此时此地的生存价值为零。其他各项技术也各有优劣。经过对价值的综合平衡,最后确定了以水力发电为主,风力和地热发电为辅的决策。于是,水力、风力和地热发电技术在这项工程中得到了展现:工程完成和维持期间,该地域的地貌中出现了新的湖泊(水库),大地上竖立起过去从未有过的一片风车,人们由

于有了廉价电力而大量使用各类生活电器,等等。

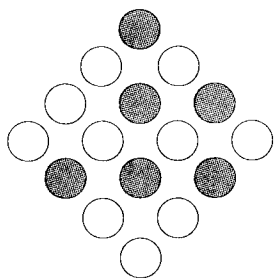
(3)技术虚拟工程系统的结构。根据技术系统具有三个子系统的约定,工程所投影的技术空间也应是一种三维空间;这三维分别是自然技术维,社会技术维和思维技术维。工程中的自然技术、社会技术和思维技术在工程活动中各司其职。自然技术是硬技术,决定着实现工程的最终功能的物质基础;社会技术,尤其是其中的管理技术,将控制工程有序的发展;思维技术则是保证工程创新必不可少的条件。这些技术在工程中的地位并不总是对等的,也不是一成不变的。我们称工程系统在这样的技术空间中的投影为技术虚拟工程系统。

如同在价值空间中设定有四类价值吸引中心一样,在工程所对应的技术空间中可假设存在若干自然技术吸引中心、社会技术吸引中心和思维技术吸引中心,它们有各自的影响区域,其边界很复杂。站在这样的技术虚拟工程系统中,我们能看到整个工程系统中所含技术所形成的技术流。技术流在这些吸引中心的影响下应该会形成某种结构。各技术吸引中心所标示的该工程系统中的核心技术,它们在该项工程中的价值能取到极值,其影响范围涉及围绕它们生存的其他配套技术。我们应特别注意处于边缘上的技术,它们的价值可能处于浑沌状态,很难预估,就如同上面提到的航天飞机隔热组件的安装技术一样。这里需要特别指出社会技术中管理技术的作用和局限。

(4)管理技术的作用和局限。如上所述,管理技术的作用在于控制工程系统的有序发展。按我们对技术的定义,此处所谓的管理技术是指已经程序化的方法。目前已有大量行之有效的管理技术在工程系统中发挥控制作用。如工程的招投标操作,投入产出分析,质量控制管理,价值链分析法,财务软件应用,产品营销术,人员考核制度,等等。但管理技术并不能涵盖工程中的全部管理工作,如工程中出现突发事件时的紧急处理方法可能尚无一定之规,属于应急管理范畴。由于这类突发事件在复杂工程系统中是会经常发生的,所以应急管理应是工程系统突出的特点之一,必须予以重视。我们之所以把管理作为工程的独立要素,这也是原因之一。一般而论,在多次应对某类突发事件后获得的成功经验和失败教训的基础上,才会创生出新的处理该类突发事件的成熟的管理技术。

参 考 文 献

1. 周光召主编.《2020年中国科学和技术发展研究》(上),北京,中国科学技术出版社,2004
2. W. D. 拉蒙特著,马俊峰 王建国 王晓升译.《价值判断》,北京,中国人民大学出版社,1992
3. H. 派特根、P. 里希特著,井竹君、章祥荪译.《分形——美的科学》,北京,科学出版社,1994
4. 约翰·齐曼主编,孙喜杰、曾国屏译.《技术创新进化论》,上海,上海科技教育出版社,2002
5. 李喜先等著.2005.技术系统论,北京,科学出版社
6. 周光召、朱光亚主编.1997.共同走向科学,北京:新华出版社



下篇 应 用

李伯聪

12. 工程系统设计

虽然人也是有本能的,但工程活动既不是人的本能活动,也不是简单的“条件反射性”行为。工程活动是有目的、有计划的人类行为,在现代工程活动中,必须先进行“工程设计”,于是,设计工作就成为了工程活动中的“先导性”环节。

马克思在《资本论》中,曾经对蜜蜂和建筑师的活动进行了发人深省的对比。马克思说:“蜘蛛的活动与织工的活动相似,蜜蜂建筑蜂房的本领使人间的许多建筑师感到惭愧。但是,最蹩脚的建筑师从一开始就比最灵巧的蜜蜂高明的地方,是他在用蜂蜡建筑蜂房以前,已经在自己的头脑中把它建成了。劳动过程结束时得到的结果,在这个过程开始时就已经在劳动者的表象中存在着,即已经观念地存在着。他不仅使自然物发生形式变化,同时他还在自然物中实现自己的目的,这个目的是他所知道的,是作为规律决定着他的活动的方式和方法的,他必须使他意志服从这个目的。”^①虽然马克思在这段话中没有直接使用设计这个词,但容易看出,马克思在这段话中,实际上已经清楚而深刻地阐明了设计的特征和设计的本质。

在工程活动中,从时间方面看,设计是一个初始性的环节,但它却绝不是一个

^① 马克思:《资本论》第1卷,第202页,人民出版社,1972年。

“局域性”或“局部性”的环节,相反,设计工作乃是一个影响到工程活动的“全局”和“全过程”的“环节”。

“好”的工程需要有“好”的设计作为前提和基础;而“坏”的设计等于在设计阶段“预先”为工程“埋”下“隐患”,而这些“定时炸弹”在此后的工程活动中都有可能发生“爆炸”的。

在工程活动中,设计的重要性是不言而喻的。我们看到,在现代社会中,从机构和制度方面看,社会上存在着许多“名”为“规划设计院”、“建筑设计院”、“电力设计院”、“设计研究所”或“设计室”的“机构”;在工程界,虽然小公司和小项目没有明确设置设计师职务,但规模较大的工程项目是必须设置“设计师”这个明确的“职务”或“岗位”的,而“按图施工”则早已成为工程界的“行规”。在学术界,我们也看到出版了一些从不同方面或角度研究“设计”这个“主题”的著作,例如布西阿勒里的《设计工程师》,^①戚昌滋主编的《现代设计法》^②等。可是,我们认为,如果我们承认“设计”也可以作为一个像“管理”或“评估”那样的研究对象和研究领域的话,那么,对这个“领域”的许多问题的研究都还处于刚刚起步——有些方面甚至还谈不上真正起步的状态,这是一片广袤无垠的处女地,有待于“拓荒者”来此开垦、播种、收获。

1985年中国建筑出版社组织出版了“现代设计法”系列书刊,上面提到的《现代设计法》就是该丛书中的一种。这套丛书有一个“致读者”的前言,前言以“正在开垦的处女地”为题,并且引用了诺贝尔奖金获得者法国科学家让·道赛的一句话放在“页首”：“我们现在正坐在一个金矿上。”可以看出,该丛书的编者和作者都充分意识到了设计问题的重要性和在这个领域进行开拓工作的非比寻常的意义。

我们完全同意让·道赛的那句话,因为“设计”领域确实实是“一个金矿”。在本节中,我们将在借鉴和参考工程界、学术界、哲学界、教育界对设计问题的某些研究成果的基础上,结合我们的某些一孔之见,对设计问题进行一些粗浅的分析和论述,希望能够对有关问题的深入认识和研究有所促进。

12.1 设计的历史发展

12.1.1 古代的设计

有人说:“最早制作劳动工具如石斧、石刀、弓和箭的原始人,是人类第一批‘设计师’。当然他们的构思、表现和制作是统一的行为。在当时设计不是独立的活动。不仅原始社会,而且在手工艺高度发达的奴隶社会早期,都没有形成独立的设

① Bucciarelli, L. L., *Designing Engineers*, MIT Press, 1994.

② 戚昌滋主编,《现代设计法》,中国建筑工业出版社,1985年。

计活动。”^①随着人类社会物质生产活动规模的扩大和社会上宫殿、城市、运河、陵墓、宗教等工程建设规模的扩大,人类的设计水平也在不断提高。

我们不可能在此具体叙述古代时期设计发展的情况——即使是轮廓性的叙述也不可能。在此我们仅想指出:世界上不同地区的文明都创造出了具有自身特色的设计思想和设计成就。以建筑设计为例,古代中国、古代埃及、古希腊、古罗马都形成了“自己”的独特建筑体系。古代中国建筑主要是木构架建筑体系,以木材为主要建材,创造出了独特的木结构形式,“建筑构件规格化,单体建筑标准化,群体建筑序列化,重视环境与建筑的协调”。而“古希腊建筑艺术和技术的精华,一是石质梁柱结构建筑的形式;二是规范化的法式。这种法式通常把建筑中的柱子、额枋和檐部的形式、比例和相互结合所形成的程式法规称为‘柱式’。先后创立了多立克柱式、爱奥尼亚柱式和科林斯柱式,成分体现了三种不同柱式人体化的风格和美学思想。古希腊的建筑型制、结构方式和设计原理,对后来的古罗马建筑和19世纪欧美的古典主义建筑,甚至世界现代建筑都有广泛而深刻的影响。”^②

12.1.2 现代的设计

如果我们以“制度化程度”为“设计”发展分期的“基本指标”,那么我们有理由粗略地把“设计发展史”划分为古代和现代两大时期,二者的根本区别就在于:“一般地说”,古代时期还没有分化出“职业”的设计师和制度化的设计“机构”^③。中国古代的李冰,从“功能”和“作用”上看,我们确实可以把他“看作是”都江堰工程的“设计师”,但他在当时社会中的“实际职务”却是“官员”。在另外一些情况下,许多古代工程的“设计师”在当时社会中的“真实身份”是“工匠”。

只有到了现代时期,才出现了越来越明确的设计与制造的“分工”,出现了“专业”的设计师。这种变化是从工业革命时期开始的。工业化大生产的出现,要求设计工作的专业化、制度化,特别是由于设计工作越来越复杂,设计工作也逐渐从“个人承担”发展到“集体化”和“机构化”。王受之说:“现代设计与传统设计的不同之处,在于现代社会、现代生产方式、现代人的审美观。除此之外,传统的设计不少是设计与制作不分的,设计者也是制作者,而现代生产的一个很大的特点就是制作与设计的分工,使设计终于成为了一个独立的活动,与制作、生产活动分开了。因此,现代设计产生的背景是现代化的工业生产,也就是说,自从1750年的工业革命以来,现代设计才逐步产生,其中包括了现代建筑、工业产品设计、平面设计、服装设计等等”^④。

随着现代社会的发展,设计工作的重要性日益增大、日益突出,设计人员越来越

① 席跃良:《设计概论》,中国轻工业出版社,2004年,第24~25页。

② 席跃良:《设计概论》,中国轻工业出版社,2004年,第28、45页。

③ 在这个问题上,我们不排除存在有“例外”的“个案”情况,但这似乎可以并不影响本书“正文”中“一般性论断”的“正确性”。

④ 王受之著,《世界现代设计史》,中国青年出版社,2004年,第46页。

越多,“设计队伍”越来越庞大,设计机构的形式越来越复杂多样,设计工作越来越制度化,需要进行设计的“领域”越来越宽广,设计思想越来越丰富多样,设计水平也越来越高。

12.2 设计的基本性质和特征

英语 design 可以用作名词,也可以用作动词。作为名词的 design 可以指心理计划,即在思想中形成的计划,也可以指艺术中的草图或效果图;作为动词的 design 来源于拉丁语的 designare,含义是做记号、制造。

现代汉语中的“设计”一词也是既可以用作名词也可以用作动词的。汉语的“设计”一词,“从词义角度看,设计包含了‘过程’和‘结果’两层涵义。从动词的意义上理解,‘设计’是指人类对事物的规划、构想、研究的活动过程;从名词的意义上理解,‘设计’是指人类对事物的构想、研究的结果或成果,是设计的‘物化’。因而设计是构想和解决问题的过程及结果。”^①

从汉语史方面看,古代汉语往往单独使用一个“计”字,例如,《孙子兵法》十三篇,第一篇就是“计篇”。作为一个“合成词”,“设计”是在现代汉语中才出现的。

正如有些现代汉语“词汇”(例如“干部”、“哲学”等)是来自日语一样,现代汉语的“设计”大概也是从日语“引进”的。“19 世纪初日本曾有人把‘design’翻译为‘图案’,充当‘实用美术’的角色与‘纯美术’分庭抗礼。‘图’为谋利之意,‘案’为运筹之意。我国把‘设计’概念与‘图案’相提并论,是从日本引进的,曾在‘design’、‘图案’和‘设计’这些术语的用法上产生过混乱。20 世纪 30 至 80 年代这半个多世纪,设计一直被限定在‘工艺装饰’和‘民间匠艺’、‘美工’狭隘领域里不能自拔(引者按:这应该是指‘工艺美术界’的情况)。21 世纪以来的现代设计,不仅已融入全球化的轨道,赢得社会各界的刮目相看,而且已经成为不容忽视的巨大产业。”^②

的确,在现代社会中,“设计”已经成为了日常生活中使用频率很高的词汇,“设计师”也成为了令人尊敬的职业。在现代社会中,不但大规模的工程项目必须进行设计,许多“小项目”和“小商品”——例如家具、服装、广告等——也要求进行设计。需要申明,虽然我们也承认“服装设计”、“包装设计”等比较简单的设计工作也是“设计”,但本节研究和分析的“主要对象”将是那些规模较大的工程活动中的“设计”工作而不是“招贴广告设计”那样比较“简单”的设计工作。

12.2.1 设计的基本原则和特点

对于设计工作的基本性质和特点,已经有一些学者进行过分析和论述,例如曾经担任过美国马里兰大学工学院院长的机械工程教授乔治·戴特(George E. Di-

① 钱凤根、舒艳红主编,《设计概论》,岭南美术出版社,2004 年,第 2 页。

② 席跃良著,《设计概论》,中国轻工业出版社,2004 年,第 1 页。

eter)在他的《工程设计》一书中用了四个“C”来概括工程设计的基本特点^①:①创造性(Creativity):工程设计需要创造出那些先前不存在的甚至不存在于人们观念中的新东西;②复杂性(Complexity):工程设计总是涉及到具有多变量、多参数、多目标 and 多重约束条件的复杂问题;③选择(Choice):在各个层次上,工程设计都必须在许多不同的解决方案中做出选择;④妥协(Compromise):工程设计常常需要在多个相互冲突的目标及约束条件之间进行权衡和折中。我们认为,乔治·戴特的这个概括和分析确实是简明而精辟的,具有重要参考价值。

对于设计工作需要遵循的基本原则,我们可以提出以下几点。一是系统性和整体性原则。由于现代工程活动规模越来越大,设计工作越来越复杂,设计分工越来越细密,于是,在设计工作出现“只见树木不见森林”情况的“频率”也越来越大了,在这种情况下强调设计的系统性原则无疑具有很强的针对性和重要现实意义的,钱学森关于必须重视总体设计的思想就是具体贯彻和体现“系统性”原则的一个关键环节。二是价值性原则。工程是追求价值目标和价值导向的活动,这里所说的价值不但是指经济价值,而且是指社会价值、环境价值、伦理价值等“广义价值”。三是约束条件下寻求优化的原则。工程设计的方案不可能只有一个,工程设计就是要在方案的探索 and 不同方案的比较中找出尽可能优化的设计方案,还应该强调指出,所谓优化不但是指技术上的优化而且也是指经济和社会目标(指标)上的优化。四是协调与和谐原则。工程设计应该把通过自然工程活动而追求人与自然的和谐与人与社会的和谐作为设计工作的根本目的和根本原则,而摒弃和排斥那些破坏人与自然和谐与造成人与社会关系紧张的工程设计。

以上是对设计工作的一些一般性分析和阐述,为了进一步深入认识和把握设计的本质属性和基本特点,我们还需要从思维特征、制度特征和方法论特征等方面对设计活动进行一些进一步的分析和考察。

12.2.2 作为一种特殊思维方式的设计

由于设计活动无疑地是一种思维活动,所以我们就有必要从思维与现实的关系上去认识和把握设计的本质。

著名的航空工程师和教育家西奥多·冯·卡门(Theodore Von Carman)说:“科学家发现(discover)已经存在的世界;工程师创造(create)一个过去从来没有(存在)过的世界。”^②我们可以再补充一句话:“艺术家‘想象(imagine)’一个过去和将来都‘不存在’的世界。”

可以看出,“发现”、“创造”和“想象”典型性地表现了三种不同类型的人与现实的关系。由于工程师在进行物质“创造”活动之前必须首先进行“设计”,所以,我们

^① Dieter, George E.: *Engineering Design: A Materials and Processing Approach* (3rd ed.), London: McGraw-Hill, 2000, p. 3.

^② Bucciarelli, L. L., *Engineering Philosophy*, Netherlands: Delft University Press. 2003, p. 1.

又可以把上述关系“转述”为“发现”、“设计”和“想象”这三种不同类型的思维与现实的关系。为分析和讨论的方便,我们可以分别把“科学家发现科学定律”、“工程师设计一座电站”和“作家写一本小说”看作上述三种思维活动的“典型事例”。从哲学和心理学的观点来看,在这三种不同的思维活动中,分别集中而典型地体现了思维与现实的“反映性”关系、“设计性”关系和“想象性”关系。^①这三种思维方式在思维与现实的关系上存在着复杂的异同关系,不但异中有同,而且同中有异。

设计思维和现实世界相互关系的核心是“设计性”和“实践性”关系,它既不同于科学思维和现实世界的“反映性”关系,又不同于艺术思维和现实世界关系的“虚构性”关系。

科学家发现科学定律是典型的“理论思维”活动,工程师设计一座电站是典型的“设计思维”活动;前者“反映”外部现实世界,后者“指导”和“引导”人们主动地“创造”现实,“塑造”现实,改变世界。这是两种不同的思维方式和两种不同的思维与现实的关系。^②

工程师在设计一座水库时和小说家写一本小说时,就他们的思维对象在“当时的现实世界”中都不存在这一点而言,他们都是在进行“想象”类型的思维活动。在进行想象性思维活动时,“思维对象”在外部世界中是不存在的;可是在进行“反映性”思维活动(例如科学家发现科学定律)时^③,”思维对象”原本已经存在于外部世界之中了——这就是在思维与现实的关系上“想象性”关系与“反映性”关系的根本区别。

应该注意,设计思维和艺术思维在思维与现实的关系上不但有“异中之同”,更有“同中之异”。艺术思维的想象性是“虚构”想象性,而设计思维的想象性却是具有“实践”目标的想象性。对于艺术思维的“虚构性”想象,人们不能按图索骥地询问在现实世界是否真正存在着或将要出现艺术描写的对象,可是,设计师的图纸却是以可以通过工程实践而在现实世界中“变成现实”为思维目标的。

设计思维与科学思维的区别突出地表现在以下几个方面。

首先,设计思维是价值定向的思维,而科学思维是真理定向的思维。科学思维的目的是发现真理、探索真理、追求真理,而设计思维的目的是满足社会生活需要、创造更大的价值(包括各种社会价值和生态价值在内的广义价值而非狭义的经济价值)。第二,设计思维是与具体的“个别对象”联系在一起的“殊相”思维而科学思维是超越具体对象的“共相”思维。科学思维以发现普遍的科学规律为目标,这就决定了它是以“共相”(普遍性、共性)为灵魂和核心的思维。由于任何工程项目都

① 虽然在运用“事例研究”的方法分析问题时,难免会出现许多疏漏,但其结论的核心性内容在许多情况下还是具有较大可靠性的。

② 徐长福:《理论思维与设计思维》,上海人民出版社,2002年。

③ 现代许多西方科学哲学的研究成果告诉我们绝不能和不应把这个“反映”过程和“反映”关系简单化,但这只意味着我们必须充分重视与把握这种反映性和反映过程的复杂性,而绝不意味着他们的研究成果已经“证伪”或可以从根本上否定科学思维具有“反映性”。

是“唯一对象”或“一次性”的,世界上不可能存在两个完全相同的工程,例如武汉长江二桥不同于一桥,而武汉长江三桥又绝不可能是一桥或二桥的机械复制或简单重复,于是,设计思维方式就成为了以“个别性”为思维灵魂的一种思维方式。第三,从时间和空间维度看,设计思维必然是与具体时间或具体时段联系在一起的思维,即具有“当时当地性”特征的思维;而科学思维则必然不受具体时间和具体空间约束,即它要具有对“具体时空”的“超越性”。由于工程活动——例如宝成铁路工程、青藏铁路工程、宝钢工程、三峡工程等——都是特定主体在特定的时间和空间进行的具体的实践活动,这就决定了设计思维必然在很多方面都表现为某种具有“当时当地性”的思维。例如,任何工程都有一个“选址”问题,任何工程也都有一个“工期”问题,在思考这类问题时,思考者脑海中要思考的都是与具体的时间和空间(“当时”和“当地”)联系在一起的问题而不是脱离具体的时间和空间的问题。应当注意,“当时当地性”这个特点不但表现在“选址”和“工期”方面,而且渗透在设计思维的所有环节之中。与设计思维不同,与具体时间(时点或时段)和具体空间(地点和区域)结合在一起的对象和问题不是科学思维关心的对象,科学思维关注的是超越具体时空的对象或问题。

设计思维、科学思维和艺术思维三者之间存在着复杂的“异”“同”关系。

设计思维、科学思维在必须有“科学性”、“逻辑性”这方面是具有深刻的一致性的。艺术家在进行文艺创作时,他们的思维是可以“不顾逻辑”的,小说和电影中出现的许多违背逻辑的情节大受文艺批评家的赞赏,而设计思维却不允许出现这种类型的“逻辑错误”和“逻辑混乱”。

可是,如果我们从另外一个方面分析和研究设计思维方式的特点,我们又会发现设计思维与艺术思维也有共同之处,设计思维中也有堪称“艺术性”的方面。设计思维的艺术性不但表现在设计思维需要有想象力上,更表现在设计思维常常需要工程的决策者、设计师、工程师表现出“思维个性”上面。正像艺术家思维的“(艺术)个性”是艺术活动的“艺术性”的核心一样,卓越的设计师在设计思维中往往也要闪耀出“(设计)个性”的火花和光辉。因为艺术家有不同的艺术个性,于是,不同的画家在根据同一主题绘画时必然要画出不同的“绘画作品”。我们可以把工程建设比喻为在大地上“绘画”。当工程的“业主”为同一工程项目进行招标时,不同的设计者和建设者不可能为同一工程项目提出完全相同的“工程图纸”和“绘画方案”。当人们在对比不同“投标者”的“工程图纸”和“绘画方案”时,他们不但在进行经济性、安全性、环境影响等方面的对比,他们同时也在进行“艺术性”——既包括狭义的艺术性更是指广义的艺术性即“设计个性”——对比。毫无疑问,人们在承认设计思维也具有“艺术性”时是绝不能把它和艺术思维的“艺术性”混为一谈的。

在认识和把握设计思维方式的性质和特征时,必须注意的一个要点是:从本质上看,设计思维方式不但具有知识内容,而且它还具有价值内容和意志因素。

著名的社会学家韦伯曾经把理性分为价值理性和工具理性两种类型。有人曾

经认为工程师的思维主要是工具理性的思维,以上我们分析设计思维的性质时所分析的设计思维的性质中有许多内容可以说都在表现出设计思维具有工具理性的性质,可是,如果有人硬要把设计思维归结为工具理性思维,那就大错特错了,因为在设计思维方式中价值理性的地位和作用是“高于”工具理性思维的。

设计思维的灵魂和核心是价值思维。在设计思维中,确定价值目标不但在时间上是居先的,而且它在整个设计思维活动中在内容“结构”上也是居于“高层”位置的。对于设计思维在整个设计思维活动中的地位和作用我们可以一言而蔽之:设计思维是以价值目标为导向和以价值目的为灵魂的思维。设计思维和工程活动不但必然追求一定的价值目标而且还希望这个价值目标能够尽可能地改进、改善或优化。应该强调指出,这里所说的价值目标,其含义绝不仅仅是指通常的经济价值,而是包括了社会价值、生态价值、伦理价值、美学价值、心理价值等多种和多元价值在内的广义的价值。

有些人往往片面重视设计思维中知识性成分或知识性内容的重要性,而忽视了设计思维中价值和意志因素和成分的重要性,这是对设计思维性质和特点的一个极大误解。

12.2.3 现代设计的制度性和社会性特征

在现代社会和现代工程活动中,如果不预先“委托”具有“合法资质”的“设计单位”“预先”进行“设计”并取得得到“批准”的“设计方案”,工程的施工是不能开始的。所以,我们可以说,在现代工程活动中,设计已经成为了“职业性的工作”和“制度性的要求”。我国在1958年“大跃进”时期曾经被当作先进经验宣传的那种“边设计、边施工”的做法如今已经是“非法”的工程行为了。

由于大工程的设计工作非常复杂、非常困难,所以大工程的设计工作也就成为了需要有许多不同专业的设计工作者进行合作才能完成的工作。当不同的设计师为共同完成一项设计任务而合作时,他们各自承担了不同的任务,他们在完成自己承担的那一部分任务时,他们势所必然地要从不同的“眼光”或“框架”中去“认知”或“解读”自己的“设计任务”,例如在设计一个电子产品时,元器件设计师、“性能”设计师、机械部件设计师、外观设计师、“市场分析人员”对产品设计的要求和“解读”不可能是完全一致的,有时甚至会严重冲突的。他们必须在设计过程中进行有效的沟通和协调,否则,“整个设计工作”就不可能完成。于是,设计过程也就势所必然地成为了一个“谈判”、“交易”、“协调”的过程。

对于现代工程设计的“制度性”和“社会性”特点,布西阿勒里曾有具体、深刻而精辟的分析,他说:“总之,工程设计是一个由一些不同的个人所从事的工作过程,他们中每个人都有看待设计对象的不同方法,可是大家又要互相合作,必须为了设计出一个符合一定要求和目标的新产品而共同去创造、想象、猜测、建议、推理、分析、试验和开发。”“除了最简单的设计项目之外,设计项目会有许多参加者,他们参

与设计工程系统的不同特性,工作在不同的领域,他们有不同的责任,经常出现的情况是一个设计人员的创造、发现、主张和提议常常与他人不同而不是相同。虽然在某个水平他们有共同的目标,可是,在另外一个水平上,他们的利益却是冲突的。于是,为了使他们的努力一致起来,他们就必须进行谈判(negotiation)和‘交易’(trade-offs)。”^①布西阿勒里认为设计过程不单纯是一个工具性过程(an instrumental process)而且是一个社会性过程(a social process),我们赞成他的这个观点。

12.2.4 设计的方法论问题

根据设计任务的不同,设计工作中所采用的具体方法是多种多样的,以《现代设计法丛书》为例,该丛书就包括了“离散论分析设计法”、“智能论分析设计法”、“对应论分析设计法”、“优化论分析设计法”、“信号分析法”、“动态分析设计法”等等,我们在此不谈具体的设计方法,只对若干与设计有关的“方法论”问题进行一些简要的讨论。

12.2.4.1 设计中“板块内”的逻辑方法和“全局性”的超协调逻辑方法

在(普通)逻辑学中,“(不)矛盾律”和“排中律”是基本的逻辑规律。科学家在“构造”科学理论体系时,他们把逻辑一致性看作一个基本的逻辑要求,科学家不允许在科学理论体系内部存在和出现逻辑矛盾。可是,在设计思维中,决策者、设计师和工程师却常常不得不面对“矛盾的要求”,更明确和更具体地说,他们往往不得不对相互矛盾的观点或要求采取“兼收并蓄”的立场和态度。

值得注意的是,现代逻辑学中已经有人提出可以和应该创立一种承认矛盾存在的“超协调逻辑”(paralogic,亦有人称“次协调逻辑”或“弗协调逻辑”)^②。如果我们把决策者、设计师或工程师的思维活动看做是一个“板块结构”的思维活动,那么,在实际进行设计思维活动时,我们会“看到”他们在思考和处理“板块内”问题时往往坚持“(普通)逻辑”的思维原则,“严格承认”“(不)矛盾律”和“排中律”等通常的逻辑思维规律;可是,在超越此“板块”的场合,在思考和处理“板块间”的关系时,在全局水平上,他们往往又不承认“(不)矛盾律”和“排中律”,要在思维中对“矛盾”“兼收并蓄”了,也就是说他们又在运用“超协调逻辑”了。

在设计工作中,如何处理“(普通)逻辑”和“协调”的关系常常是一个关键性的问题。

① Bucciarelli, L. L., *Engineering Philosophy*, Netherlands: Delft University Press. 2003. p. 9.

② “超协调逻辑”是澳大利亚逻辑学家普里斯特和罗特列提出的。我们可以从下面的一个古代故事中领会到这种逻辑学说的基本精神。一个土耳其人纳塞阿丁(13世纪人)的菜园里有两个园丁。有一天,两个园丁为是否应该捉吃菜的害虫而争吵起来。纳塞阿丁和他的妻子恰好路过,问二人为何争吵。园丁甲说:“我说这些虫子必须杀灭干净,因为它们吃了卷心菜”。纳塞阿丁答道:“你说得对。”园丁乙说:“不要去碰这些虫子,它们也有活下去的权利。”纳塞阿丁答道:“你说得对。”这时,纳塞阿丁的妻子说:“纳塞阿丁,他们俩不可能都对。”纳塞阿丁又答道:“你说得对。”普里斯特和罗特列认为,纳塞阿丁的立场就是典型的超协调逻辑的立场。

12.2.4.2 设计中问题求解的非唯一性和启发法

美国学者科恩曾深入地研究了工程方法论问题,他认为最基本的工程方法是启发法。启发法有四个特点:①启发法并不保证能给出一个答案;②一种启发法可能与另外一种启发法相冲突;③在解决问题时启发法可以减少必须的研究时间;④一种启发法的可接受性依赖于直接的问题脉络(context)而不是依赖于某个绝对标准^①。科恩又指出,当工程师在特定的时间使用一组启发法解决一个特定的工程问题时,人们可以把卓越的工程实践说成是艺术(state of the art)^②。从科恩对启发法性质和特点的描述中,我们可以看出设计思维不但具有对矛盾“兼收并蓄”的特点,而且设计思维也是具有“艺术性”的思维方式。

科学思维和设计思维都可以被看作是一个问题求解的过程,可是,这两种问题求解在性质上却有很大不同,其中最根本的区别之一就是工程问题的答案是非唯一的,而科学问题的答案一般来说是具有唯一性的。以桥梁工程为例,不但桥梁选址问题的答案是非唯一的,而且桥梁结构、桥梁材料、架桥技术、施工方案等等都不可能是唯一答案的。在现代社会中,业主方之所以常常对工程项目采用招标方法,其“前提”和“基础”就正是因为工程问题的求解具有非唯一性。

设计思维中问题求解具有非唯一性这个特性对工程设计和工程决策都产生了极其深刻的影响。这就在设计领域和决策领域提出了设计者和决策者能否在众多的可能答案中选择出“最优”或“卓越”“答案”的问题。卓越的设计者和决策者能够在这个以“答案非唯一性”为基本特点的“设计和决策舞台”上表现出高水平的设计能力、决策能力和卓越的决策艺术;另一方面,也正是由于工程活动和设计思维的答案具有非唯一性,另外一些设计者和决策者在这个“决策舞台”上就要“上演”“平庸的”或“拙劣的”“戏剧”了。

12.2.4.3 设计中的操作(运筹)性和集成性

黑格尔把人利用工具(手段)实现自己的目的说成是“理性的狡狴”^③。在工程活动中,工程活动的主体需要运用一定的工程设备、通过一定的工艺流程或一定的工程手段才能实现工程活动的目标。正像手工业工人必须通过使用工具来达到自己的目的,工程活动的主体也必须通过运用一定的工程设备来达到自己的目的。随着社会的发展和生产技术的进步,现代人也从以往的“工具制造者和使用者”成为了“机器设备、基础设施的制造者和使用者”。设计思维的一个基本内容就是考虑如何才能合理地“运用”各种工具、机器、设备、其他手段等等组成合理的工

① Koen, B. V., “The Engineering Method”, in Durbin, P. T. (ed.), *Critical Perspectives on Nonacademic Science and Engineering* (Bethlehem: Lehigh University Press, 1991), p. 36.

② Koen, B. V., “The Engineering Method”, in Durbin, P. T. (ed.), *Critical Perspectives on Nonacademic Science and Engineering* (Bethlehem: Lehigh University Press, 1991), p. 42.

③ 黑格尔:《逻辑学》下卷,商务印书馆,1976年,第437页。

艺流程来实现工程的目的。

第二次世界大战以来, operations research(通常翻译为运筹学)有了很大发展。Operation 可以翻译为操作、运作、作业、手术、运算、作战等。工程目的是必须通过操作才能变成现实的,离开了实际的作业和操作,工程过程就只能停留在图纸阶段而不能把图纸变成现实。由于操作是工程活动的基本内容,这就使设计思维成为了“目的-工具性思维”、“设计-运筹性思维”,这使它与“原因-结果性”、“反映-研究性”的科学思维有了很大不同。承认设计思维是具有(可)操作性、(可)运筹性的思维意味着承认在设计思维中“工具理性”具有的关键性的重要意义。

上文谈到设计思维与艺术思维在必须进行想象这一点上具有共同性,可是,我们又必须注意,艺术想象和思维是“天马行空”的想象和思维,而设计师的想象和思维却必须是“脚踏实地”的思维和思维。在艺术思维中不存在可行性、可操作性、运筹性等实践性的问题,而在设计思维中,可行性、可操作性、运筹性等问题却成为了一个标志设计思维活动灵魂所在的问题。

由于工程活动是技术因素、管理因素、社会因素、伦理因素等多种要素的集成,这就决定了设计工作的基本内容是对操作问题和集成问题的“设计”和“求解”,特别是集成性问题的成功和失败更常常成为决定设计与工程成败的重要关键所在。

12.3 现代设计的类型和设计工作流程

12.3.1 设计工作的类型

在现代社会中,在生产和服务业的方方面面,在“从口红到宇宙飞船”、“从新式服装到三峡工程”的广大领域内,设计工作简直可以说已经到了“无孔不入”的地步。具体的设计工作林林总总,形形色色,多种多样,要想对它们进行“无懈可击”——甚至是“缺陷”比较少——的分类几乎是不可能的。在本章这样“鸟瞰”式的分析和论述中,我们勉为其难,把设计工作划分为工程的“技术性”设计和工程的“美术性”设计这样两个“大类型”。

12.3.1.1 工程的“技术性”设计

当“设计单位”接受到设计一台新式计算机、一座新型核电站、一座新大桥或一条采用磁悬浮技术的新铁路的任务时,他们必须解决计算机的“芯片设计”和“线路设计”之类的问题,必须回答采用什么类型的核反应堆之类的问题,必须回答是使用“斜拉桥”技术还是使用“悬索桥”技术之类的问题,必须开发出新型的“磁悬浮列车”,如此等等,我们把这些内容或类型的设计工作称为“技术性设计工作”。

在进行技术性设计工作时,由于任何“实用”的技术产品都不可避免地是许多“部件技术”或“要素技术”的“集成”,于是,如何解决“技术”方面的“集成设计”问题

就成为了设计工作的一个关键问题。在这个问题上,拒绝采用“新技术”的“技术保守主义”设计思想是要不得的;另一方面,盲目采用“萌芽期新技术”的“技术冒险主义”的设计思想也是要不得的。设计师——特别是总设计师——能否在大胆创新和采用新技术同可靠成功和采用“成熟技术”两个方面之间取得巧妙的“平衡”和协调,常常是“整个设计”工作能否成功和达到“卓越境界”的一个“核心性”问题。

12.3.1.2 工程的“艺术性”设计

马克思说:“动物固然也要生产,它替自己营巢造窝,例如蜜蜂、海狸和蚂蚁之类。但是动物只制造它自己及其后代直接需要的东西,它们只片面地生产,而人却全面地生产……动物只生产动物,而人却再生产整个世界……动物只按照它所属的那个物种的标准去制造,而人却知道怎样按照每个物种的标准来生产,而且知道怎样到处把本身固有的标准运用到对象上来制造,人还按照美的规律来创造。”马克思所说的这个“人还按照美的规律来创造”的思想和原则在设计工作中的发展中也得到了越来越鲜明的体现。换言之,随着历史的发展和社会的进步,随着设计工作的深入和发展,人们对马克思所说的这个“人还按照美的规律来创造”的思想和原则的认识也越来越深刻了。

在近现代经济和工业发展史上,大规模生产方式的出现无疑地是一个重大的历史进步,它使得向广大群众提供大量的、廉价的商品成为了可能,可是,这种生产方式生产出的产品往往存在“粗”、“笨”、“俗”的现象,总而言之,缺乏美感。有鉴于此,一些工业界和设计界人士走上了努力使工业产品“美”起来的探索之路。我们把在这个方面或方向的设计工作归类为“美术性”(或曰“艺术性”)的设计工作。在这方面,大约出现在1850—1900年的英国工艺美术运动(主要影响范围在家具和室内装饰领域)、德国的包豪斯(Bauhaus)建筑学校、美国的消费主义设计等,都是在设计发展史上产生过重大影响的“历史性事件”。目前无论在国外还是在国内,这个方向的工作都有了突飞猛进的发展,我国最近十余年间艺术设计类专业蓬勃发展,方兴未艾,为适应艺术设计类专业教学工作的需要,许多教材纷纷出版,这种情况一方面集中而鲜明地反映了设计领域中“美的觉醒”和产业界对“艺术性”设计工作的空前重视,另一方面,通过专业教育而大量培养“艺术性”设计人才又势必进一步促进“艺术性”设计的繁荣和发展到一个新水平。

12.3.1.3 21世纪设计发展的新趋势

从“应然”的角度看,设计的“技术”方面和“艺(美)术”方面应该是有机统一的,可是,从历史和现实的“实然”方面看,由于多种原因,上述两个方面却并不必然是统一的,二者的相互关系常常出现“不平衡”现象。有人曾经主要从后者的角度回顾上述两个方面关系变化的历史,认为“如果把莫里斯—维尔德时代称为世界设计界的第一代,它显然是以艺术和艺术家为主体;如果把包豪斯时代称为世界设计界

的第二代,它的结构则是艺术与技术同时并举的时代;如果把第二次世界大战后的美国作为世界设计界的第一代,那么它的成分显然是以工程技术及其专门人员为主体了。”^①

如果说在历史上,设计的技术方面和艺术方面的关系常常没有处理得很好,那么,展望 21 世纪设计的发展趋势,我们可以肯定地说:未来的设计发展一定会在追求技术与艺术的统一、节约与繁荣的统一、大众化与个性化的统一、自然与人性的统一、生活质量与生态和谐的统一等方面达到一个新的水平和新的境界,简而言之,在追求天地人合一方面达到一个新的水平和新的境界。

12.3.2 设计工作流程

对于设计工作的流程,已经有许多学者从不同角度进行了分析和概括,例如,迪克森、帕尔和贝茨、塔皮塔和伦瑙得等人都曾提出了自己对设计流程的看法。布西阿勒里也在分析和借鉴其他学者观点的基础上提出了他自己对设计流程的看法,他说:“许多人参加了设计工作,他们有不同的责任、职权范围和兴趣,当他们分别在各自范围中工作时,他们在很大程度上说着不同的语言。为了使这个说法听起来是真切的,我们应该以最广义的方法解释语言——包括草图、原型机,甚至包括在设计参加者的有建设性的意见交换中使用的用于一个计算机算法的图表。可是,仅仅有在某个学科基质(disciplinary matrix)中的个人努力是不够的:设计是一个社会过程,它不但要求有在对象世界中的紧张工作而且要求有意见交换和谈判。”^②在分析设计流程时,许多人分析的重点是设计的“纵向”“运作流程”和各个环节的反馈关系,而布西阿勒里则强调了“贯穿”在设计“纵向”流程中的“横向”交流和谈判过程,我们认为布西阿勒里的观点是对其他学者观点的重要“补充”。

12.4 设计的作用

设计工作对工程活动的成败具有关键性的影响,为简明起见,我们可以把设计的作用和意义归结为“正”“负”两个方面:“正”的方面是努力追求卓越,“负”的方面是尽量避免错误。

在分析和认识设计工作的作用和意义时,我们不但需要从“一项具体设计”对“一项具体工程”的影响这个方面来分析和认识问题,更需要从战略眼光和整体视野来认识设计工作的作用和意义,用战略和全局的眼光来认识设计的作用和意义。

12.4.1 全力保障安全,尽量避免错误

人们必须清醒地认识到:任何工程都是具有一定程度的风险性的,世界上不可

① 陆家桂主编:《设计概论》,机械工业出版社,2004年,第140—142页。

② Bucciarelli, L. L., *Engineering Philosophy*, Netherlands: Delft University Press. 2003. pp. 12—21.

能存在没有任何风险的工程。工程活动的目的是寻求成功,可是工程却可能暗藏着失败的因素。任何工程的决策者和设计者都必须对此保持清醒的认识和明确的自觉,必须保持高度防范风险和保障安全的意识。

必须承认:设计思维是一种可错性的思维,设计思维的可错性是导致工程可能失败的重要原因之一。工程风险和失败可能是由于外部条件导致的(例如发生地震导致的工程风险),但也可能是由于决策者、设计者、施工者思维中出现错误而导致的。

一般地说,可错性是什么思维方式都不可避免的,不但设计思维具有可错性,科学思维也具有可错性,可是,我们却绝不能把这两种可错性等同视之。人们可以“允许”科学家在科学实验室的科学实验中多次失败——几十次甚至几百次的失败,可是,社会却“不允许”长江三峡工程在失败后重来第二次。于是,工程项目在实践上不允许失败的要求和人的认识具有不可避免的可错性的状况就发生了尖锐的矛盾,而如何认识和解决这个矛盾就成为了推动设计工作前进和进展的一个重要动因。社会各界——包括工程的业主、施工者和其他利益相关者——都要求通过设计这个环节“及早”地发现“隐藏的危险”,尽可能地避免在工程活动中或未来的产品使用中出现危险,尽量降低危险,尽量保障安全。

应该强调指出,可错性不等于“必错性”。相反的,正因为工程活动和未来的产品有可能出现危险,这才提出了工程施工必须具有一定的可靠性与安全性、产品必须具有一定的可靠性与安全性的要求。而从对设计工作的内在要求和设计工作的内在本性来看,设计工作的一个基本作用就是要通过设计这个环节来全力保障安全,尽量避免错误。

为了保证安全和避免错误,工程设计过程中——特别是大型工程的设计过程中——往往都要求进行模型试验或其他类型的试验,通过进行试验“排除”那些不安全的设想和备选方案。

美国工程师文森蒂曾经在美国航空和航天飞机设计方面有重要成就,他于1990年出版了《工程师知道什么以及他们是怎么知道的》一书,这本书于1997年获得了ASME国际历史与传统中心的工程师历史学家奖。1992年,他在《工程知识、设计类型与等级层次》一文中说:“按定义,常规设计构成工程师事业的主要组成部分。正如我在我的书中所说的,‘对于所有的约翰逊(K. Johnson,一个著名的创新飞行器的设计者),有成千上万的应用的和生产的工程师从组合这些复活了的技术中进行设计,并进行试验、调整并加以精确化,直到他们对自己的工作感到满意为止。’这些活动构成一些大公司(如通用汽车公司、波音公司、贝克特公司)的巨大的设计办公室的主要工作。”^①文森蒂强调了试验在设计过程中的重要性,而试验工作的重要作用之一就是要“发现”“初步设计”(或“改进后”的设计)中“隐藏”的错

① 引自张华夏、张志林:《技术解释研究》,科学出版社,2005年,第122页。

误和风险。

我们知道,在工程的设计阶段,进行“试验”的具体方式和具体方法可能是多种多样的。例如,一种新型飞机的设计在“定型”之前必须进行“试飞”,而“试飞”也正是一种进行“试验”或“检验”的方法。著名科学哲学家波普认为,科学家在科学研究过程中常常使用“试错法”,现在我们看到,在设计过程中,设计师也必须使用“试错法”——通过试验而排除错误的方法。

设计工作的最重要的作用和意义之一就是要尽量避免错误、保障安全,对于设计工作所必须发挥的这个作用,设计师应该永远保持着最清醒的认识,为达此目的,设计师应该毫不懈怠地付出自己的最大努力。

12.4.2 以卓越的设计“引导”工程成功

应该指出,在设计过程中进行试验的目的和意义不但在于可以通过试验发现和排除错误,而且在于可以通过试验对工程方案进行优化,努力以卓越的设计“引导”工程活动走向成功。

追求卓越是优秀设计师所追求的目标。我们这里所谓的卓越,不是指不顾条件和需要的盲目追求“高标准”,盲目追求“高消费”,而是指在“特定”的条件和特定的目标下“提供出”“最好”、“最适宜”的方案。

要想造就一个好的工程,其首要条件和前提就是必须搞好设计,一个好的设计不但意味着一个好的开端,而且,好的设计方案还将在整个工程活动的全过程中发挥“引领”工程走向成功的作用。在这方面,堪称典型的事例简直可以说成千上万,我们在此就不再赘言了。

在设计活动和设计过程中,人的创造精神、创造力得到了集中表现和鲜明体现,要想在工程活动中取得成功,追求卓越,首先就要从在设计工作中追求卓越开始,只有有了卓越的设计才有可能出现卓越的工程。

美国产业工程师协会伦理章程规定“工程师应该坚持和促进工程职业的正直、荣誉和尊严”,应该“运用知识和技能促进人类的福祉。”设计师作为工程师的一部分,他们应该通过自己的卓越的设计工作为工程成功创造前提,让卓越的设计成为激励施工者创造卓越的工程的动因,以卓越的设计“引导”工程走向成功,以卓越的设计成就服务于促进人类的福祉——这就是设计师的职责,这也就是设计工作的作用和意义之所在。

12.4.3 设计工作的整体性和战略性地位和作用

工程设计工作是对整个工程活动的“预见”和“预演”,设计工作本身深刻地渗透着和体现了工程活动的科学性、技术性、价值性、美学性和社会性。设计工作在推动物质文明和精神文明进步的过程中发挥了重大作用,在提高生活质量和推动社会发展方面发挥了重要作用。我们不但需要从工程环节和战术的角度

认识设计工作的作用和意义,更应该注意从整体和战略的角度认识设计的作用和意义。

对一个工程项目来说,项目设计的好坏在很大程度上决定着该项工程的好坏和成败;对于一个行业来说,这个行业对设计工作的整体重视程度和整体设计水平往往会成为反映和决定该行业兴旺程度的关键指标和因素。从更大范围和更长远尺度看,设计工作的“整体状况”必然深刻影响到国家的经济社会发展状况乃至人类文明的进步。人类是有理想、着眼未来的“动物”,人类必然要无止境地追求卓越,希望能够不断走向新的更高的境界,而树立新理想、追求新境界不但需要从设计开始而且需要“落实”在设计中。所以,人们不但必须以踏踏实实、细心细致的态度认识和从事设计工作,更必须以宏观和战略的眼光认识和从事设计工作。设计工作本身只是全部工程活动中的一个部分和一个环节,可是,它却是一项具有全局性意义和必然影响全局的工作。在讨论设计的作用和意义时,我们要关注项目设计对项目成败的决定性意义,更要关注设计工作对一个企业、一个行业、一个国家的未来发展的战略作用和意义。虽然当前仍然有不少人对设计工作的重要性——特别是战略重要性——认识不足,但认识到这一点的人已经越来越多了,并且对此的认识还在越来越深化,体会越来越深刻。

设计面向未来。

设计引领未来。

战略设计引领战略未来。

李喜先

13. 工程系统管理

在《科学系统论》一书中,1.2 已论及自组织系统的涵义;在《技术系统论》一书中,1.2.3 已论及他组织系统的涵义;在本书中,1.2 论述了管理与他组织概念,并进一步地阐明了管理、控制和他组织概念之间的关系。

13.1 一般管理

13.1.1 一般管理概念

在追溯起源的意义上,管理概念几乎与人类社会的历史一样久远。

“管理”一词与控制、管制、管辖和处理之意类似,与英语 manage 和 administer 词义相近。古代时期,我国对“管”一词有多义:(1)乐器名;(2)泛指细长圆形中空之物;(3)拘束,如看管;(4)管制、管理;(5)管辖、统辖,“管以开闭门户,辖以解脱车轮”。^①

现代时期,在概念和理论上,管理和控制越来越密切了。为了深入地理解管理,首先要对控制概念和理论有基本的理解,并要进一步地了解管理与控制的区别和联系。

13.1.2 控制概念和理论

控制概念很普遍,可以含领导、指挥、管理、教育等。按照给定的条件和预定的目标,对系统及其发展过程进行调整并施加影响的行为,称为控制。一般地,因果关系就是控制现象,进而还发现控制本身是一个系统,主要由施控子系统、受控子系统及其中介(多种手段)子系统构成。控制系统是一类有目的的系统,即施控者选用适当的手段作用于受控者,以使系统状态发生合目的性的变化。

1948 年,美国数学家 N·维纳出版了所著《控制论》一书,全名是《控制论,或关于在动物和机器中控制与通信的科学》,是奠基性著作,这标志着控制论已经形成了。它与信息论、系统论关系极其密切,其理论具有横断学科的性质,其方法具有一般方法的意义,控制论的原理和方法渗透到了许多学科领域,特别是在管理科学中得到了广泛的运用,以致出现了科学(含自然科学和社会科学等)控制论化的

^① 《辞源》(修订本),商务印书馆,第 2361—2362 页,1982 年。

趋势。

经典控制理论主要是建立在黑箱原理的传递函数基础上的自动化理论,基本上限于线性、定常、单输入单输出系统和一些简单的非线性系统。现代控制论采用基于白箱原理的状态空间方法,主要适于研究时变系统、大量非线性系统和多输入多输出系统。

13.1.3 管理与控制的关系

在概念和理论上,管理与控制极其密切。L. V. 贝塔朗非在创立一般系统论中就发现了不同系统间存在着相似结构,可称异质同型或同构性。管理是一个系统,而控制也是一个系统,它们具有的系统性质或突现性质是相似的,因而是同构系统,具有同构关系。管理系统主要由主管、受管和中介(手段和方式)三要素构成,而控制系统主要由施控、受控和中介三要素构成。它们都是有目的的系统,即由主体(管理主体或主管、施控者)通过中介或手段作用于受管或受控对象,使系统状态发生合目的性的变化。控制制约着管理,离开控制,管理难以实现,因而管理依赖于控制。特别是,它们都是典型的他组织系统。尽管如此,但它们之间仍有重要区别:1、控制概念和理论可遍及广泛的领域,即可适用于自然系统、社会系统、人工系统、概念或观念系统;而管理概念和理论多用于社会系统,即仅限于有人参与的“活”系统。2、控制多涉及物质系统、即不含人的“死”系统,易于采用数学科学、自然科学方法描述;而管理多涉及复杂系统,特别是社会复杂巨系统,与社会学、历史学、人类学、行为科学、心理学等的关系密切。3、控制带有强制性;而管理要符合人的需求,不带有强迫性。4、控制的实质是在有多种可能性中的一种选择;而管理的实质是执行。

13.1.4 一般管理理论的发展

人类社会发展总与管理活动相伴。一些人类学家、古生物学家、考古学家和历史学家认为,人类祖先在距今约 35000 年时,终于完成了整个进化,转变为能进行思维的人类。人类进行有效的管理实践活动史就伴随在有文字记载的约 6000 年文明史中。人类为了生存的需要,必然要与自然界发生关系,要与自然界发生关系,首先要在人与人之间、群体与群体之间形成社会关系,才能更有效地与自然界发生关系。人类只有通过各种交往,才能构建起社会关系、形成社会力量,从而真正地部分地改造自然界。

早期人类约 80% 的时间都在农业社会之前度过,在生产中就必然出现分工和协作。在原始社会里,就有了日常事务,同时也出现了氏族公社、部落联盟议事会等,经常有管理活动。

在不同的历史时期,管理活动存在着不同的状态,相应地也形成了不同时期的管理理论,如早期管理理论、近代管理理论、现代管理理论和当代管理理论。

13.1.4.1 早期管理理论

从18世纪下叶至19世纪末叶,西方出现了各种管理思想,这是管理理论的萌芽。1776年,英国亚当·斯密发表了《国民财富的性质和原因的研究》,第一次分析了劳动分工的经济效益,并提出了“生产合理化”的概念。1832年,英国巴贝奇出版《论机器和制造业的经济》一书,其中论述了专业分工、工作方法、机器和工具的使用、成本记录等,进一步地发展了亚当·斯密的管理理论,是管理学上的重要著述。美国普尔指出,企业管理不能依靠创办人和资助者,必须由专职管理人员进行,并提出了组织、通讯联系、情报资料三条基本管理原则,从而克服了“把人只看成是一部机器”的危险等有价值的观点。

13.1.4.2 近代管理理论

从19世纪末叶至20世纪初叶,形成了近代管理理论。这种理论又称为科学管理理论,是借助于各种事先制定的科学程序、标准和制度对工业生产、分配过程进行控制和调节,用经济的方法来维持生产秩序的管理。

1911年,美国泰罗发表了《科学管理原理》一书,提出了劳动方法标准化、工时的科学利用、差别工资的制定、重视工人的培训和管理工作的专业化等。同时,法国工程师费尧把管理职能分为计划、组织、指挥、协调和控制5个要素,并提出了专业分工、权利集中、权责统一和公平报酬等概念。美国甘特和亨利·福特也为近代管理方法、理论做出了重要的贡献。

13.1.4.3 现代管理理论

从20世纪中叶开始,现代管理有了新发展,主要表现在管理体制高效化、管理人才专业化、管理方法定量化和管理手段自动化等方面。特别是,现代管理理论的一大学派行为科学的发展,对管理科学理论产生了重大影响。行为科学的理论前提是“社会人”假设,它以人类学、社会学、心理学为基础,并广泛地运用社会科学和自然科学相关领域,研究人类行为及其变化的规律,寻求激发人的积极性、借以预测和控制人的行为,从而提高管理效率。它对管理的影响主要归为:使原来以“事”和“物”为中心,发展到以“人”为中心;由靠监督和纪律进行管理,发展到人性激发、行为引导的管理;由“独裁式”的管理,发展到“民主式”的管理。

后期的行为科学理论又有了新的发展:从原来注意维护良好的人际关系,转入充分利用人力资源上;更强调人的尊严、组织目标与个人目标的一致性;更注重人的需要、动机;更注意管理方式等。

在这一时期,先后出现了X、Y、Z等理论。X理论是美国社会心理学家道格拉斯·麦格雷戈基于“经济人”假设而提出的理论,即代表传统的指挥和控制观点所形成的一种管理理论,它认为,人只是关心自己的经济利益,厌恶和逃避工作,因而

管理者的行为就是关心人的物质利益,进而进行严密的控制。Y理论也是麦格雷戈基于“社会人”假设而提出的理论,即代表个人目标与组织目标融合而形成的一种管理理论,它认为,人并不只是具有利益的需求,也并非天然就不喜欢工作,因而管理者要关心人的各种需求,并尽可能地把人们的需求与工作统一起来,并在工作满足自我实现的需求。Z理论是日裔美籍教授威廉·大内在X、Y理论的基础上并融合美日的管理方式而提出的管理理论,它强调团体意识,企业要以整体性的协调配合追求长期的利润,形成“家族式”的共同意识、彼此信任,形成亲密的关系。权变理论是约翰·莫尔斯、杰伊·洛希和弗雷德·卢桑斯等基于“复杂人”假设而提出的理论,又称为超Y理论,它主张要依据组织内外因素权宜应变地运用各种管理方法的一种管理理论,是以往理论的综合、应用,未有突破性进展。

在现代管理理论中,系统管理理论也是一种新的管理理论。它运用系统理论把管理科学与行为科学结合起来而形成的先进管理理论,这种理论将管理视作一个系统,并称为管理系统。任何管理系统都有其基本特征:其一是目的性,即每一个管理系统都各有自己的目的,不同管理系统有不同的目的,不能混淆,要坚持各个系统围绕着一个目标而形成合力。其二是整体性,即系统的各要素或子系统之间相互联系、相互作用,形成为有机的整体,从而产生交叉效应、最佳整体效应。其三是层次性,即系统有合理的层次结构,以能使系统运行产生高效率。

中国学者张顺江在《中国决策学》(第六卷)——《自导式管理》中,提出了自导式的管理理论和方法。他认为,一些西方管理多着眼于“管”,往往把人物化为机器,而中国式管理则渊源于古代思想家老子、孔子等哲人,则重点在于如何“教”人,如何开发人的灵性,把人智慧化。他指出:“管理的最高境界是自导式目标管理,是教化,是感应,是不管之管,中国古代哲人称之为‘大化’。”……“因此,管理既不是管人,也不是管物,而管的是理,管的是人的‘灵魂’,管的是人的精神现象并使之合于客观的规律”。^①

13.1.4.4 当代管理理论

当代,社会发展出现了整体相关性、全球性和知识创新性等新的态势,因而管理也呈现出新的特点。随着经济全球化,也出现了政治、文化全球化的趋势。相应地,管理理念、管理方式也出现了新的趋势。

(1) 管理活动信息化

信息化是指将国民经济、社会结构框架的重心从物理性空间向信息、知识性空间转移的进程,就是说,信息化是描述经济、社会系统中信息部门不断壮大的过程。这是一个在任何现代化国家都实际发生着的过程,是一种新的经济和社会发展现象。

^① 张顺江著,《中国决策学》(第六卷)——《自导式管理》,当代中国出版社,第2页(序言,导言),2003年。

各类管理活动,如政府、企业、科技、教育等部门,都要利用现代信息科学技术、信息手段,如信息设备等,实现信息的获取、生产、传递、存储、处理、利用等。信息获取包括各种信息测量、存储、感知和采集等;信息传递包括各种信息发送、传输、接交、显示和记录等;信息处理包括各种信息的交换、加工、放大、增值、滤波、提取、压缩等,特别是数值信息和知识信息的处理;信息利用包括利用信息进行控制、操纵、指挥、管理、决策等,特别是“人一机”协调的智能控制、智能管理技术的利用。

管理活动信息化可以减少信息传递层次、信息失真,实现远距离的直接交流;可以及时地收集、传递、分析、整理和利用信息,尽可能快地为各类决策系统提供信息资料的依据,从而提高决策的时效性、科学性、工作效率和创新能力。

(2) 组织结构网络化、扁平化、柔性化

网络化组织结构是建立在信息技术的基础上的,以应对社会发展的快速反应。它广泛地运用国际互联网、部门内部网,实行对组织的信息化、网络化管理,以便大量地、准确地传递最新的信息。随着信息技术的迅速发展,特别是计算机技术的广泛应用,几乎在现代社会的各个部门都在运用网络技术进行管理。如在政府管理工作中,建立虚拟政府,即电子化政府或网络化政府,形成全方位、高效率的服务,增进行政管理的现代化、民主化、公开化。在组织结构上,改变以往传统的层级化的公共组织架构,建立网络型组织。

组织结构扁平化是指管理层次减少、管理幅度扩大,使组织结构的形式从传统的金字塔型向扁平型转化。信息化、网络化使得信息的获取、传递更加容易,部门之间、决策层与基层之间可迅速沟通,从而形成决策层、管理层、操作层均在同一平面上的平面化管理模式。

柔性化是指组织结构设置上有更大的弹性,就能提高组织的灵活性、应变能力、适应能力。组织结构弹性化既有稳定性又有变动性,如设置灵活机动的临时性机构、团队,并赋予基层组织有更大的自主权、处置权,以发挥主动性和积极性,从而提高了管理效率和效益。

(3) 知识管理成为新的管理理念

当代,人类正在迈向信息社会、知识社会,知识广泛地渗透到各个领域,因此,在广义上,一切管理都必须以知识为基础,形成新的管理思想、观念和理论。在狭义上,知识管理就是指知识本身的管理,特别是在进入以知识为基础的知识经济时代,知识管理已凸现出来了。

知识的定义、知识管理的定义尚处于研究之中。目前,对知识管理的定义有多种:其一,知识管理是对知识的识别、获取、开发、分解、使用和存储等。其二,知识管理只是对现存知识进行管理,以利于多次使用,而更重要的在于对怎样生成新知识进行管理,等等。总之,知识管理的兴起,给管理理论带来崭新的问题,原有的管理思想和模式已显得不适用了,必须要另辟蹊径。

(4) 强化以人为本的管理理念

在知识社会,知识将转变成为高质权力之源。原则上说,知识具有无限的延伸性,将取之不尽,用之不竭,可同时被使用;知识又可以转变为武力和财富系统;可以代替资本,成为产业的资源。但是,各类知识皆是通过以人为载体而实现的,因而以人为中心进行“人本管理”就成为当代管理的核心思想。这包括情感管理、民主管理、自主管理、人才管理和文化管理等,进而要运用行为科学,重新塑造人际关系,充分地开发和利用人力资源,提高劳动者的参与意识,提高劳动者的科学文化素质,激发劳动者的积极性和主动性。为此,以人为本的管理思想就要关心人、理解人、爱护人、尊重人,从而才能充分地发挥人的创新性。

13.2 工程系统管理概述

工程系统管理是一般管理在工程系统中的运用。一切动态系统要在环境中生存和发展,必须有执行管理功能的管理系统。

按工程系统管理的性质,大体上存在着4类性质不同的管理:其一,物对物的管理,即利用技术装置对受控对象或管理客体进行管理;其二,人或管理主体即对物的管理,即人对技术设备、物资等的管理;其三,人对人-物复合系统的管理,即对有人参与构建物质系统的管理;其四,人或管理主体对仅有人类群体、人类社会组织的管理。本书主要涉及后两者,即自然工程系统管理和社会工程系统管理。

管理是人类的一种社会活动,具有不同于其他社会活动的特点,而工程系统管理则具有不同于其他管理的一种特殊的社会活动。尽管各种类别繁多的管理有其自身的特点,但都有共同之处。任何管理都是一个独特的系统,因而工程系统管理就是工程系统的管理系统,即是整个工程系统的协调器。在不同系统之间存在着同构性,即异质同型性或相似结构。这表明,凡管理系统至少要由三个基本要素或子系统构成,即管理主体、管理客体(对象)和管理中介(方式和手段等)所构成。只有这三个要素有机地结合,才能形成现实的管理活动。

13.2.1 管理主体

首先,必须强调,人始终是主体,而且必须是现实的人,从事对象性的实际活动的人,才能作为主体。从事管理活动的人是实践活动的承担者,用自己的尺度去形成人化世界、人工系统。管理主体活动所指向的客观对象,就形成管理客体,但它只有同管理主体相联系或受到作用时,才能进入管理活动的领域而成为管理客体。工程系统的管理活动虽然改变了事物的存在形态,把自在自然变成了人化自然,但并没有改变其客观实在性。而客观实在性和规律性对管理主体的活动既提供了可能性,同时又给予了客观的制约或限制。因此,在工程系统管理活动中,不能违背客观规律,而可以充分地认识和利用客观规律。类似地,工程系统的管理活动在作

用于人类社会系统时,同样不能违背社会发展的规律,而只能在充分地认识社会系统的复杂性、规律性的基础上,进行管理或控制,如管理主体——国家统治集团,可以利用法律等进行管理或统治,以建立社会秩序。

在工程系统管理过程中,一方面,管理主体要将主体的思想、意志、目的赋予管理客体(对象),即实现人的本质力量对象化;另一方面,客观世界也反作用于管理主体,使人受到影响,引起认识上的变化,从而深刻地认识人与自然、社会之间的关系。

工程系统管理主体既有一般管理主体应具有能动性又有从事工程系统管理实践活动所要求的特殊本质或素质、能力。在三个基本要素组成的工程系统的管理系统中,管理主体就是管理协调器,即决策层,因而总是处于主导地位,承担起整个工程系统的指挥、协调的责任,使之正常运行。因此,要求管理主体是应具有管理知识和一定经验的人,进而提高管理效率、效益,最终能达到管理目标。

一般地,管理主体是一个有结构和功能的系统,而整个管理系统是由个体、各个子系统或职能部门组成的。一般工程系统的管理主体系统包括决策、执行、监督和智囊子系统等。决策子系统是管理主体的核心,它从全局、战略的高度,制定规划和计划,并进行全面布局;执行子系统是贯彻实施决策,并使之落到实处;监督子系统是对执行状况实施监督,并及时反馈到决策子系统;智囊子系统为决策子系统提供信息、理论和方法等。实际上,任何管理主体个体都承担着各个环节的管理任务。因此,管理主体系统只有整体、部门和个体协同作用,才能形成管理活动。

管理主体是有多层次结构的系统。大体上,这些层次可分为三层:高、中、低层(基层)管理主体。不同层次负有不同职责,也要求具有不同性质的才能。相对而言,高层管理带有领导的性质,而领导与管理既有区别又有联系:(1)主要区别在于,领导侧重于方针、政策制定和重大问题决策,主要思考如何实现宏观的综合性目标,领导所关注的对象主要是人;而管理主要集中在业务层、专业层,包括人、财、物、信息等。(2)相互联系在于,高层次的管理也可以认为就是领导,因而领导就是管理,是高层的管理,如管理一个国家、一个庞大的部门等。中层管理主体是高层与基层管理主体的中介,侧重于对高层的重大决策进行贯彻落实。基层管理主体主要是具体业务或专业管理,因而需要具有更多的专业技术知识、具体操作性的管理能力。

管理主体要在一定的社会组织中扮演一定的社会角色,进而与每个角色相关的因素是职位、权力和责任。职位设置必须具有合法性,是赋予管理主体具有一定身份的标志;权力是为保证管理主体行使职能而赋予的相适应的支配力量;责任是对管理主体的职位、权力的制约,即是在赋予特定职位上使用应具有的权力,不能越职、越权,同时又负有相应的责任。因此,职位、权力和责任是相互依存、相互联系、相互制约、相互影响的不可分割的整体。

13.2.2 管理客体

在工程系统管理中,第二个要素或子系统就是管理客体。与管理主体对应的

就是管理客体,即管理指向的对象系统。管理的对象和内容可以是人的世界或物的世界,也可以是人与物组成的复合系统。在工程系统管理中,涉及对物的管理,可归之为以物为中心的“物本管理”。这种管理思想是见物不见人、重物轻人,把人当作工具、当作物来管理,把人当作机器的附属物,要求人适应机器,对人实行物质刺激、金钱激励。这种管理越来越显现出局限性,因而在 20 世纪 30 年代后,管理对象则转向“以人为中心”的管理,即“人本管理”,因为对物的管理是通过对人的管理来实现的。在当代的管理思想中,进而转向了“以人的知识、智力、技能和创新能力的核心内容的‘能本管理’,或在‘人本管理’中导入‘能本管理’的内容。”^①

在逻辑上,在工程系统管理中,管理客体或管理对象包括了整个工程系统,而工程管理的最终目标就是工程系统的目标,是通过对管理对象施加工程管理功能实现的,而且管理对象对管理主体有反作用或响应。

13.2.3 管理中介

人类在认识自然界和改造自然界中,必须有有效的方法,如方式、手段、程序、途径等,即通过中介系统才能达到预定的目标。事实上,中介是在事物之间起间接联系作用的环节,是普遍存在的。它指不同事物或同一事物、同一系统内部不同要素之间起居间联系作用的环节,这表现为在空间上并存的不同物质客体的居间联系,以及在时间上事物转化或发展序列的中间阶段。

在工程系统的管理系统中,必须通过管理中介系统,才能达到管理目标,即工程系统的目标。将管理主体与管理客体结合起来的中介或中介系统就是管理方法,应包含方式、手段、工具、途径和程序等。“工具”是一个很宽泛的概念,可以包括网络、通信、交通等中介物,也可以认为是人体器官的延伸。1877 年,德国技术哲学家卡普出版了《技术哲学纲要》一书,其中提出了所谓“器官投影理论”,认为手是一切人造物的模式和一切工具的原型。“途径”是指始点与终点之间特定的联系。“程序”是指指令集,即规范化的过程。在管理中介系统中,管理方法多种多样,如以强制性的方法,直接对管理对象施加影响,达到管理的目的,包括采用军事、法律和行政等手段。采用经济手段,调节各种经济利益关系,引导人们的行为,以实现管理目标。还可通过思想教育,引导和控制人们的行为,达到观念(价值观、人生观等)、文化的教化作用,实现统治的目的。特别是,这些管理方法在社会工程系统管理中是行之有效的。

要建立起有效的、合理的管理系统,必须有科学的管理思想、观念,特别是通过学习和总结管理经验而形成的先进的管理理论。在构成管理系统的三个基本要素中,管理主体,即人,始终占据着核心的地位,因此,对人性的认识,从而对人性有深刻的理解,是建立各种管理理论的基石,同时也是对社会学、政治学、历史学、心理

^① 毛卫平、韩庆祥主编,《管理哲学》,中共中央党校出版社,第 102—103 页,2003 年。

学、人类学等与管理科学紧密相关的一系列学科富有挑战性的领域。在管理理论的发展史中,根据当时的历史条件,对人性或人的本质的认识就出现过几种人性假设,如“经济人”、“社会人”、“复杂人”等,相应地形成了几种理论。尽管这些理论各有其合理性,但未能真正成为系统的、严密的、科学的理论。美国历史学家斯塔夫里阿诺斯(L. S. Stavrianos)考虑过人性的本质,并在其所著《全球通史》一书中提出:“历史记载表明人类天生既不好和平,也不好战争——既不合作,也不好战。不是人的基因决定他们怎样行动,而是社会教他们怎么行动。专门研究这一问题的心理学家阿尔贝特·班度拉曾断言,人性是‘一种巨大的潜在力,它可能受社会的影响而形成各种类型。……侵略性不是人类必然的、不可改变的一面,而是社会中助长侵略性的环境所导致的结果’。”^①对于人性的本质的认识,无疑地,既对全人类来说具有普遍的重大意义,同时又对研究人类的行为,从而建立起正确的管理理论具有实际的意义。美国早期著名的社会学家、社会心理学的创始人查尔斯·霍顿·库利(Charles Norton Cooley)在其著名的三部曲之一《人类本性与社会秩序》中,深入地论及了“遗传和本能”,他认为,由种质(决定遗传的细胞)产生的严格的遗传特性的变化是极其缓慢的,而社会本性——人类在亲密联系的简单形式或称“首属群体”^②中,特别是在家庭和邻居中发展起来的社会本质——较之遗传易变得多。特别是在讨论人性的善与恶时,他指出:“在这个意义上,人类本性是最容易变化的,因为导致行为的本性,随着外部影响的变化而在道德或其他意义上都是变化的。现在是自私、无能、好斗和保守的本性,几年以后在另一个环境里可以变成慷慨、有为、温和和进步的本性;一切取决于本性是如何被唤醒和运用的。……然而从更一般的意义应该说,人类本性最基本的特点就是可教育性,它的变化并非是为了成为人们行为和社会习俗的变化的不尽源泉。如果我们理解人类本性,我们可以让它按我们的意愿发挥作用,就像一个聪明的机械师,运用物质和运动的普遍规律来为他的目的服务”。^③这表明,人性或人类本性是随着社会变化而变化的,各种管理理论,包括工程系统管理理论,都要基于对人类本性的认识,才可能成为正确的管理理论和管理方法,而主观随意地进行的各种人性“假设”,并依此进行的种种管理都会带来片面性,以致引起失效之果。

13.3 工程系统的管理系统

工程系统是人工系统,是典型的他组织系统,与自组织系统有着显著的区别。自组织现象普遍地存在着。自组织过程产生的结构、模式、形态尽管千差万别,但必定存在着普遍起作用的原理支配着这种过程。现代科学已有许多深入的认识,

① L. S. 斯塔夫里阿诺斯著,吴象婴、梁亦民译,上海社会科学出版社,第 531 页,2000 年。

② “首属群体”是查尔斯·霍顿·库利首创的概念,在他的其他著作中有详尽论述。

③ 查尔斯·霍顿·库利著,包凡一、王源译,人类本性与社会秩序,华夏出版社,第 25 页,1999 年。

提出了一系列自组织原理,发现了自组织过程实现的不同方式,如自创生、自生长、自适应(含自学习,以适应环境)、自更新等。在这些方式中,有些的产生过程十分复杂,而且机会很小,如生命生成过程,尽管其基本要素,包括构成生命物质的有机大分子、从环境获取动力、组织指令等要素均已具备,但要通过漫长的演化,才能涌现出生命现象来。此外,还有其他自组织形式的出现,也显得很艰难。相形之下,他组织系统的构成则可以通过人工控制,而不需要漫长的过程。工程系统的形成,就可以通过人工控制来实现,其中最有效的控制就是通过自组织作用而发挥他组织作用,甚至可以施加强迫力以达到目标。对于我们最关心的工程系统要达到最终满意的目标,主要取决于如何建立有效的管理系统,即他组织系统,进而达到自组织与他组织相结合的更高级组织形态。

本书主要论及自然工程系统管理和社会工程系统管理。虽然它们在许多方面,如管理系统的结构、功能和基本构成要素——管理主体、管理客体和管理中介——是相似的,即具有系统同构性,但是在细致的分析中又会发现许多差异。

13.3.1 自然工程系统的管理系统

自然工程系统的管理系统是整个自然工程系统的协调器,它与其他子系统,如技术子系统相比,显得更为重要。它主要由管理主体、管理客体(对象)和管理中介(方法等)三个子系统所组成,其中管理主体始终处于主导地位。王连成在其所著《工程系统论》一书中,关于工程管理系统的组成,还包括了信息采集和比较器两个子系统。

13.3.1.1 管理主体

在自然工程系统的管理系统中,第一个子系统就是上述占主导地位的管理主体,也可称为管理协调器。任何层次上的任何工程系统都必须有一个协调器,而且整个工程系统只能有一个最高的协调器。任何管理协调器都是相应层次管理系统的大脑,即决策中心,在管理组织结构中对应于决策层,类似于控制系统中起核心作用的控制器(调节器、顺序控制器),它要不停地根据比较器的输出,借助计算机辅助管理系统的支持作出决策,并通过管理中介系统执行正确的策略,控制管理客体(对象)校正已出现的偏差,使之接近于预定的管理目标。

在自然工程系统的组织系统中,充当系统管理主体地位的组织是系统顶级管理组织,即对应工程系统中的管理协调器。在自然工程系统中,虽然还有一类与管理协调器紧密相关的技术协调器,即技术总体组,但是整个工程系统实现其目标的程度、水平总是取决于管理协调器组织的协调能力和水平。在一个特定的自然工程对象系统层次上,技术总体组主要作用于它的一个组成部分,即自然工程对象系统,而管理协调器组织则要作用于相应的自然工程系统整体,这表明,前者(技术协调器)也是后者的管理对象。因此,管理主体主要是指管理协调器组织。

我们还可以从自然工程系统人员的地位来辨识:扮演技术活动全局协调器角

色和管理活动全局协调器角色的都是工程系统人员,但因两者职能的差异,而管理活动全局协调器应对应于自然工程系统的管理系统的管理主体,即管理协调器。同时,对于自然工程系统来说,管理人员和管理组织,分别对应个人协调器和机构协调器,而机构协调器则是个人协调器的有序集合。

在自然工程系统人员中,对于管理系统人员来说,主要要求是要有驾驭全局的能力,以及作为团队组织者应具有的系统组织和系统管理知识、技能等。在相应层次的自然工程系统中,总揽全局的管理总负责人称为项目经理或行政负责人,顶级项目经理是整个自然工程系统的最高负责人。

13.3.1.2 管理客体

管理客体是与管理主体的管理活动紧密联系的管理对象,包括管理主体的行为所指向的一切对象,是一个不断变化的动态系统。

自然工程系统的管理目标就是通过管理系统对管理客体(对象和内容)施加管理功能而达到的。管理客体是一个有机的整体,王连成认为:“在逻辑上,工程管理对象包括整个工程系统,即包括工程系统中的工程对象系统、工程过程系统、工程技术系统、工程组织系统、工程支持系统以及工程管理系统本身;在物理上,可把工程管理对象划分为两个层次:以工程项目为管理对象的层次和以工程项目内的具体事务为管理对象的层次。前者是高层次的工程管理对象;后者是基础层次的管理对象。”^①

任何管理对象对应于确定的任务,即是一项目——一个管理对象系统。按照不同的标准,对特定的项目可分解为不同的层次,以致呈现出具有层次结构的项目系统。以项目层次级为管理对象属于高层次的管理对象;以及在项目内细分为基础管理对象,如项目目标、任务、技术和最终产品等。

13.3.1.3 管理中介

管理主体要达到管理最终目标,即以最短的时间、最少的成本消耗,达到满足用户全部技术指标要求的自然工程系统的对象系统,必须通过管理中介系统才能实现。这就是说,管理主体(管理协调器)必须要通过管理中介系统——管理执行系统,还应包括信息采集系统和比较器——作用于管理对象,才能形成一个具有闭环反馈控制能力的管理系统。

管理中介系统是联系管理主体和管理客体的关节点,既要执行管理主体的决策,进而又要作用于规模庞大、种类繁多、千变万化的复杂性管理客体,因而必须运用先进的管理理论和管理方法,特别是系统理论和系统方法,才能实现管理目标。为此,我们将管理中介视作一个他组织系统,并通过管理客体内部的自组织运动,使工程系统进入正常运行状态,最终实现管理目标,即工程系统的目标。

^① 王连成著,工程系统论,中国宇航出版社,第213页,2003年。

中介概念是普遍的,因而管理中介就是管理中普遍适用的方法系统。这个系统丰富多彩,可从多种视角划分:从时间维或从纵向角度,包括有程序、步骤、进程、途径等基本管理方法,如计划、组织、指挥(指导)、协调、控制等;从形式角度,包括强制(法律、行政、军事等)、经济手段、教化(教育)管理方法等;从凸现要素(重要性、关键性)角度,包括有项目型管理、战略型管理、知识型管理、风险型和创新型管理方法等。

(1)从时间或纵向的观点

一切事物都发生动态变化,起点与终点之间有必然的联系。因此,按程序实施管理是普遍有效的方法。长期以来,管理学家们从管理实践活动中认识到,按计划、组织、指挥、协调和控制的基本步骤,就构成了前后连接、有一定顺序的有效管理方法。“计划”是管理过程的起点,这是工程系统本身的性质所决定的。马克思在描述蜘蛛的活动与织工的活动相似时,早有过精辟的论述。任何工程系统的目标在开始时就已在工程系统人员(包括管理人员)的表象中存在着,即已以观念形态存在着。这个观念形态就是工程计划,即在行动前已清晰地描绘出未来的前景——目标。在观念形态的计划中,十分突出目标的作用,而“目标管理”就充分地表明了其他管理环节均要围绕着目标,以至可以构建起一个全面的管理系统。“组织”是继计划后的管理环节,包括人力、物力等组织活动,重点在于人的组织和塑造。“指挥”或“指导”是使观念形态的计划变成现实的环节,这包括多种形式,如示范、引导、激励、教育等,使层层分解的目标得到落实。“协调”是指挥的延伸和补充,但它不仅在本系统内发挥作用,还要与相关的并行系统沟通、协商,以保持适当的相互关系。“控制”与“管理”的概念既有区别又有类同,这已在 13.1.2 中论及了。控制概念适于广泛的领域,而管理概念多适于社会系统。在“管理控制论”中,将控制视为管理中的第三个环节:1. 目标和计划;2. 组织实施;3. 进行控制。第三个环节,即进行控制,是指在计划开始实施时,就同时围绕着目标,及时、有效、准确地保证目标的实现,并在实施中出现偏离目标或需实现更高目标时,通过控制调节手段,加以修正。要实施管理,必须善于控制。实质上,管理控制论是管理科学与系统论、信息论、控制论的交叉所形成的理论,把管理对象与控制对象看作是紧密联系的一个系统,把控制活动视为是信息收集、处理和反馈活动,通过控制输入而影响输出,从而达到管理之目的。通过控制过程来重新认识计划的正确性和合理性,因而可以说是在更高阶段上的再认识或现场思维。

在管理系统中,控制原理渗透其全过程,包含反馈控制(正、负反馈控制)、实时控制(现场或同步控制,类似自动控制)、前馈控制(补偿控制、预先控制、未来导向控制)等。同时,还有随机控制或试探性控制、记忆控制(以已有的控制经验指导下一次控制)、共轭控制(相似性的控制,如智能模拟、风洞模拟等方法)、程序控制等。我们特别强调自组织控制的重要意义。本质上,控制就施加他组织力,控制系统就是典型的他组织系统,控制理论也是迄今发展得最为充分的一种他组织理论。因

此,在管理理论中渗透、融合自组织控制,则是他组织与自组织相结合的一类典范,必定会提高当代管理水平。与人工控制相比,自动控制系统已经具备了一定的自我组织能力。如果我们在管理系统中,按照控制系统的设计原理,进一步地采用自组织原理,赋予系统特定的自组织能力,如自镇定、自维修、自适应、自生成、自学习等,则可以创造出多种有特定需要的具有自组织能力的管理系统、控制系统或他组织系统,从而达到高级的组织形态,或建立起最佳管理系统。这些自组织控制包括:1. 自镇定控制,即形成自寻稳定的系统;2. 自寻最优点控制,即能自动搜寻输出响应的最优点,并使输出保持在最优点附近的自动控制方式,又称自寻极值控制;3. 自适应控制,即通过探索、学习过程,以求得适应环境变化的能力;4. 自修复控制,即当系统自身局部受损,能自我复原,如生命系统所具有的能力一样。如此等等,不一而足。

(2) 从凸现管理要素的观点

由于在管理系统中,显现出某些特定的要素,或者具有时代的特点,或者具有特殊的重要性,因而形成了一些管理方法系统。

依上所述,在物理上,把大多数工程系统管理对象分为项目和项目内基础管理对象两个层次,相应地,作用于这两个层次上管理系统也形成相关的结构,如项目型、基础型和混合型(部分项目、部分基础型)管理系统。这些类型的管理系统各有其优、缺点,而选择何种类型,主要取决于各类型间差异的大小:差异较小,如同为硬件或软件系统,则选基础型管理系统;差异甚大,如既含硬件又有软件系统,则选项目型管理系统;差异大、小均有,则选混合型管理系统。但是,无论选哪一种类型,都要在相应的顶级上设置一个系统级的管理系统。

实际上,项目型管理法在工程系统等领域广泛地被采用,成为具有普遍意义的现代管理方法。项目管理法的产生,是由于人类长期在工程活动中,涉及到规模日益增大、性质日益复杂的管理任务,必然选取的方法。“项目”是指在既定的保障、约束条件下,为实现特定的目标而要完成重大的、一次性任务。为此,就设置项目型管理系统,以完成特定的任务,如现代为研制原子弹而设置的“曼哈顿”计划、为探测月球而设置的“阿波罗”计划等,均采用了项目管理方法。采用此种管理方法有一系列优点,毛卫平等认为:其一,目标明确。通常,按任务而设置的项目,其目标明确而具体,并带有约束力,以特定方式确定下来;在整个项目管理活动中,目标居于中心地位,其他管理均围绕目标的实现而展开。其二,约束、保障条件稳定。当目标确定,所需各项条件则同时确定下来。其三,项目具有独特性、一次性。在工程系统中,项目一旦确定,一般不具有试验性、重复性,显著地区别于大量重复性生产任务。其四,只许成功。在工程系统中,对于结果的评价的标准就是“不许失败”^①。这显著地不同于科学研究的管理和评价标准,甚至也不同于技术研究的管

^① 毛卫平、韩庆祥主编,《管理哲学》,中共中央党校出版社,第150—151页,2003年。

理评价标准。这表明,在自然工程系统的管理系统中,其中管理中介环节,或具体实施操纵的管理执行系统,对于实现管理主体的决策,最终达到管理目标,有更高的要求,这包括有周密、可行的计划,有科学而严密的目标体系,有合格的、高素质的各类人员的组合,有高效的协调工作,以及有强有力的控制能力等。

此外,还有战略型管理法、知识型管理法、创新型管理法和风险型管理法等,这将在社会工程系统的管理系统中部分地论及。

(3)从多种形式或“横”向管理的观点

在管理系统中,管理的形式,如采用的方式、手段、工具等,因而形成的管理方法很多。如强制法,包括采用军事手段、法律手段、行政手段等施行管理,也是广泛使用的管理方法。采用经济手段,运用经济处罚、增减税收等,也是行之有效的管理方法。通过教育、引导、激励等入手,对管理对象的人生观、价值观等思想观念产生影响,也是管理和统治等有效的方法。这些管理方法将适合在社会工程系统的管理系统中论述。

13.3.2 社会工程系统的管理系统

在逻辑上,与自然系统相对应,同样地存在着社会工程系统及其相应的管理系统。社会工程系统是唯—由人参与的人类社会系统,是具有自主意识、自由意志、富有创造性、使用符号的系统,对于这样的复杂系统是最难管理或控制的系统。一些早期的社会学家就开始应用社会学的理论,进一步地探索如何控制社会或统治社会。1901年,美国社会学家罗斯(Edward Alsworth Ross)在其著作《社会控制》中首先提出社会控制概念,即社会对个人或集团的行为所作的约束,是一种有意识、有目的的社会统治。我国社会学家孙本文认为:“社会控制就是加给个人行为的所有任何约束,就是种种行为规则与制度对于个人行为约束的作用。”^①

与任何工程系统一样,必然有其目标和与其一致的管理目标。社会工程系统要实现的目标在每一个历史时期各不相同,每个国家也有差异。就现代社会而言,一般地要追求的目标仍有其共同性。美国社会学家华德就提倡“社会导进”,即通过社会规划、计划或设计,建立有秩序的社会,包括社会的物质生活、精神生活和社会情感等方面,使社会进入合理状态。社会工程学等学科试图采用社会改进的特殊技术,我们在《技术系统论》一书中称为社会技术,建构社会工程系统,以达到社会进步的目的。1976年,联合国统计委员会还提出了改进社会状态的13项社会指标。总之,社会工程系统的目标是要运用社会学的原理,进一步地改进社会制度,创造出新的社会形态或模型,才能真正地达到社会和谐和稳定的目的。为此,必须要建立社会工程系统的管理系统,才能达到预定的目的。

虽然社会工程系统的管理(控制)系统在许多方面迥异于自然工程系统的管

^① 孙本文,社会学原理,商务印书馆,第511页,1934年。

理系统,但是在结构、功能等方面又十分类似。因此,我们认为,社会工程系统的管理系统也由管理主体、管理客体(对象)和管理中介三个基本要素或子系统所组成。

13.3.2.1 管理主体

任何管理系统都有管理主体或控制主体,但其结构、功能各异。在社会工程系统的管理系统中的管理主体与自然系统中的迥然不同。因为,管理客体只限于社会的人、社会群体或整个社会系统,即人的世界,而不是物的世界,即使涉及物的世界也是间接的。管理主体的构成主要是社会的各级领导层、统治阶层,以及各类社会组织、集团的决策层。在不同历史时期、不同国家、不同民族、不同集团中,管理主体层中必然又有多层次结构,相应地具有不同的功能。管理主体在社会成员中始终占少数,但对社会的发展、社会物质文明、精神文明的进程,起着巨大的作用。在不同历史时期,尽管管理主体层的形成与变迁各异,但基本上相应于权力结构的形成与变迁。在总体上,管理主体的结构是金字塔形式的,只不过在不同历史时期、不同国度存在着差异而已。

在人类社会系统中,存在着管理主体层是社会演化必然生成的,也是十分必要的。这对于通过社会管理系统,施行社会管理,包括建立社会规范、约束社会偏离行为、进行社会教化等,以维护多数社会成员的共同利益,维护社会秩序等是合理的和十分必要的。

13.3.2.2 管理客体

在社会工程系统的管理系统中,管理客体或受管对象就是众多的社会成员。由于管理客体是由不同规模、不同层次、不同性质的各类社会工程所构成,最大可包括整个社会系统,最小可涉及各种性质不同的团体;还有性质各异的大、小工程项目。在我国就出现过早期的扫盲工程、再就业工程;接着,又有扶贫工程;在教育上,有希望工程、“211”工程;在科学上,有知识创新工程;等等。对这些大、小不等、性质不同的各类工程,凡参与其中的人员都要受到教育、管理和约束。

可以说,几乎全体社会成员都是受管对象,都必须接受社会规范的约束。在社会成员中,总会发生不同程度的偏离社会规范的行为;违反刑法的犯罪行为、不良行为、违章行为;违反道德规范的行为等,都是受控对象。

受控对象有广义和狭义之分:广义的受控对象,包括社会化或社会“教化”在内的所有对象;而狭义的是指,偏离行为才成为受控对象。

13.3.2.3 管理中介

在社会工程系统的管理系统中,管理主体通过管理中介系统(手段、媒介等)作用于管理对象,而管理中介是形式繁多的一个系统,简称管理中介系统。大体上,

管理中介系统可分为7类:

(1)强制性的硬控制

硬控制方式主要指,采用社会强制力而实施的控制,包括政权、法律和纪律。其硬度或强制的程度:政权,即国家机器的统治权,如镇压、改造等,居首;法律,即统治者意志的集中体现,表现为各种法律形式,次之;纪律,属于一定社会集团必须遵守的准则,居末。

(2)靠舆论、道德的软控制

软控制比硬控制更具有广泛性。软控制包括风俗、道德、信仰、信念等方式,其中道德在软控制中最重要。风俗经过社会化就转化为习惯,潜移默化地起控制作用。舆论是维护道德的社会力量,而良心则是内部力量,也是人们内心世界的“法庭”。道德评价主要是对人们进行善恶判断和评价,而善与恶也是人们的行为品质的核心,既存在于心理世界,又表现为外部行为,因此道德的影响力最大,产生的社会控制作用也最广泛和普遍。

(3)从硬到软的控制

硬控制只有经过软化,才能变成人们的自觉行为,而纪律是从硬到软的过渡环节,进而向道德、风俗延伸,使软化程度增强,最后深入人们的内心世界,实现深入的更广泛的社会控制。

(4)通过符号系统传递信息实现控制

在当代社会系统中,管理主体大量地通过大众媒体、信息通道,即利用符号系统,将控制的信息发射出去,使受控的社会成员接收到,然后将引起的响应、反应的信息,再反馈到管理主体,实现最佳的控制效果。

(5)战略管理中的协调和控制

要建立和谐、稳定的社会,必须有长远的、全局性的战略管理,才能适应经济、政治、文化全球化。中国要创建创新型国家、建立和谐社会、建立国家创新体系,这是伟大的“世纪社会工程”。对于这类复杂的社会工程,必须采用大系统控制方法,才可能实现战略目标。

(6)风险管理方法

在社会工程系统的管理系统中,虽然许多管理方法都会不同程度地存在着风险,但是要创新,就要勇于实践,不怕风险。首先,要认识到,风险与成功相伴而生,怕风险,就意味着失去了成功的机会。其次,要清醒地认识风险,要用更高的智慧去承担风险。最后,要有对待风险的策略,这包括防、避风险,化解风险等。总之,要创造新的管理理论和探索新的管理方法,以应对时代的要求和挑战。

(7)知识管理方法

知识管理方法是指,使知识能够得到更好地生成、生产、创造、传播、共享和利用的崭新方法。知识管理的核心是创新。今天,面对全球化时代,创新是在激烈的竞争中使自己立于不败之地的最有效的武器。因此,在创新管理中,要不

断地打破现有平衡，不断地提出新的目标。对于要建立中国特色的国家创新体系来说，要整合的创新要素或子系统，应含政治、经济、社会、科技、教育、军事和文化等，可归之为创建物质文明、政治文明、社会文明、生态文明和精神文明五大子系统协同创新体系，其核心是要实现知识加速创新，从而才能确立起真正的科学发展观，在 2020 年建成初级的创新型国家，在 2050 年成为全面的创新型国家，这是中国国家创新体系的战略目标。

14. 自然控制工程

14.1 自然控制工程系统的内涵

“自然控制工程”是在我国著名科学家曾庆存院士首倡的“自然控制论”的理论基础上延伸和推广而形成的。^①按曾庆存院士“自然控制论”的定义,是维纳提出的“控制论”的一个分支,它与工程控制论、人口控制论和生物控制论都是控制论的分支。

自然控制论研究自然环境的自控行为与人工调控的机理以及人工调控的理论、方法和技术。它的核心问题和最终目标是人工调控自然界环境的某些具体客体。对自然环境的合理或优化的利用和调控,以便自然环境和人类沿着“合理的”或“协调的”方向发展,达成“可持续发展”和“社会与自然环境协调发展”的基本目标。

自然控制是对自然界的控制,包括两方面的内容:一是自然界本身的自己的控制,二是人如何导入这种控制。一般讲的控制论都是讲人如何控制,很少讲系统本身自己有一种有组织的自己的控制机制,后者是系统论和非线性科学所研究的。系统本身就有其自身的控制,那么人工要控制系统就应找到这种控制机制,顺其自然。工程中的系统与自然界系统不一样,对于工程系统,它不“转”可以想办法人为地让它“转”,但自然界那么大,它不“转”,人要它“转”是“转”不起来的,你必须找到它确实有“转”起来的那个机制,就是说要做到“四两拨千斤”。所以在自然界的自然控制论中,曾院士特别提出:自然界它自身控制的自控机理,要把这个搞清楚,和人工控制区别。这应该说是自然控制论的要义。

例如“云”,它是自动组织的,它是自然界自身的结构造成的,如地面受热状态和高空的结构,一朵云的生成是有一定的机制的,它一发展起来就会压制其他的云的形成。所以人工降雨,乱洒一通是没有用处的。

都江堰情况是利用地质条件建成的。李冰的时代留给后人总结了六个字“深掏弯,低做堰”,就是利用了当地的地势,用物理的话就是约束条件。自然形成的条件并不是太稳定,所以都江堰每年要“岁修”。都江堰是利用水流自身的机理形成

^① 本文写作中,得到了曾庆存院士的大力支持和亲切指导,多次接待作者的访问,并为我们的写作提供许多资料,本文是在他的关心指导下,由我和蔡肖兵博士合作完成的。——金吾伦。

的分沙,但它不稳定,需要人工修整去保持这种机制的稳定,人工的控制就是要控制使其保证这种机制的稳定。这就是自控和人控相结合的情况。

降水和森林之间的关系,表明生物利用地质条件形成的自身与环境之间的控制。植物的多少影响到局部气候。植物通过呼吸机制调节自身的温度影响局部的水汽。树多蒸发量大,蒸发量大云气就多,就越容易形成降雨,如局部的自然结构合适,局部的风速不太快,云形成降雨将水气返回到地面,形成合理的反馈,完成自然局部的控制过程。

地质条件中的水量的多少,和水在局部的循环,形成了当地植物的类型。所以该种草的要种草,该种树的要种树。草原的形成和地质环境形成的水的供给量有关,自然界和植物间利用对水的循环的条件形成了稳定的植物与地质间的关系。树的蒸发量大,在草原上种树,会破坏这种自然控制的平衡,造成生态环境的恶化。不同种类草的蒸发量也不同,不同的环境有不同种类的草的生长。枯草对水分的保持有利,所以要提倡轮牧,保持自然界自身的控制是在可控的条件之下进行。

所以要控制自然界的東西,必須要了解自然界它本身是不是有自己組織起來和自己控制的机理,然後才可以人工進行控制,使自控與人控有機協調。

这里强调了自然界自身控制的重要性。离开自然界自身的控制与自组织,只讲人为的控制是片面的。这里还需指出,控制自然与自然控制是不同的。医生治病面对的都是病人这个自然机体,但中西医采取了不同的控制理念。西医是控制自然,把人体当成机器,治病是立足于开刀,截肢,换脏器。中医则采取自然控制,把人体看成有机整体,治病着眼于恢复和保持身体各部分的协调平衡,尽量避免人为地改变受控对象自身的结构与功能,促使身体往优化方向演变,极好地体现出顺其自然的自然控制。西医治病所依据的是机械还原论,中医治病的原则是有机整体论。所以,控制自然与自然控制内在体现了两者不同的价值观与方法论。“自然控制论”是人类最伟大的控制理论,同时也是规模最宏大的控制工程。

14.2 自然控制工程系统的结构与功能

自然控制工程系统具有一般工程系统所具有的知识结构要素,即价值观念、科学知识、技术知识和管理知识。但它还有其自身所特有的结构成分与特征,遂使它成为与一般工程系统所不同的特殊工程系统。

第一,它的对象是自然生态环境,其中包括全球与地区自然生态环境的治理、改造和优化;

第二,它比一般工程系统具有更大的复杂性与综合性。例如,国际性的“保护臭氧层公约”、“保护生物多样性公约”,国内的三峡工程等;

第三,它需要多学科的交叉与联合才能取得有成效的结果,同时也将推动交叉科学的发展。

14.2.1 自然控制工程系统的理论和方法

按曾庆存院士的提法,自然控制论研究的最终目标是对自然环境合理或最优的利用和调控,以便自然环境和人类沿着“合理的”或“协调的”方向演变。因此,自然控制论的核心问题就是发展研究和解决这一问题的理论和方法。从理论上说,其数学表达的一般提法可以简述如下:

设我们所与利用的自然环境的一部分变量及与之又相互作用的变量全体为集合 $X(P, t)$, 它随空间点 P 及时间 t 而变。设 X 由 m 个分量 $X_i (i=1, 2, \dots, m)$ 组成, 即 X 为一依赖于 P 和 t 的 m 维向量:

$$X(P, t) = [X_1, X_2, \dots, X_m]^T$$

又设与之有关的人类活动或称人文变量为 $X(P, t)$, 它是一个 n 维向变量, 其分量为 $Y_j, (j=1, 2, \dots, n)$,

$$Y(P, t) = [Y_1, \dots, Y_2, Y_n]^T$$

这些变量直接或间接地作用于自然环境变量 $X(P, t)$ 之上, 从而改变着或扰动着 $X(P, t)$ 的演变过程, 于是自然环境 X 的演变同时由其自身及人文变量 Y 所决定。这种演变过程由微分方程(一般是偏微分方程)所制约, 即

$$\frac{\partial X}{\partial t} = L(X, Y, t)$$

还有初始条件

$$X|_{t=t_0} = X^{(0)}(P)$$

以及边界条件

$$\Lambda(X, Y, t)|_{\partial\Omega} = C$$

其中 t_0 为研究该自然环境过程的起始时刻, $\partial\Omega$ 为所研究的自然环境空间的边界, $X^{(0)}$ 和 G 为已知函数(向量), 而 L 和 Λ 为某些算子。显然, 人类活动受其自身的能力例如经费所限制, 因此, Y 受其某些泛涵或范数 $\|\cdot\|_p$ 所限, 即

$$\|Y\|_e \leq C \quad (2.6)$$

其中 C 为限制常数; 或者人类要求改变后的自然环境距离人类生活最适宜的自然环境条件 X_p 相差较小, 即 $X - X_p$ 的某种范数 $\|\cdot\|_p$ 要满足一定的限制条件

$$\|X - X_p\|_p \leq D \quad (2.7)$$

其中 D 为限制常数。

自然控制论就是要在满足(2.6)或(2.7)或(2.6)加(2.7)的限制条件下, 寻找一种合理或最适当的人类活动 Y , 使得其某种社会——经济效益最优, 这个效益自然是由改变后的环境变量 X 和人文变量 Y 所决定的, 即使其某种泛涵, 记作 $G(X, Y)$, 于是我们要求

$$G(X, Y) = \text{最优}$$

其中“最优”的意义可以是“最大”(例如经济效益最大),也可以是“最小”(例如经费耗费最小,或污染程度最小等等)。

14.2.2 自然控制工程系统的应用

曾院士在“自然控制论”一文(载《21世纪100个科学难题》)中谈到的应用有:①最优航道工程和最优水利工程;②区域污染控制;③调控气候;④人工影响天气等。在我们与曾院士的交谈中,他还补充了许多应用,包括:可持续发展,中医中药的自控,人工调水,人工消雾,除霜,河流治理,生态控制等重要现实问题。我们以人工消雾和人工增雨为例。人工消雾就是把大雾消除,使天气晴朗。通常,气象学家把由悬浮于贴地层空中的微小水滴造成水平能见度小于1000米的天气现象称为雾。由于雾天能见度极差,使交通堵塞,车祸增加,航空港、海港、高速公路关闭,造成大量旅客滞留,影响到人们的正常工作和生活。据中国民航华北管理局提供的资料,1994年11月17日至18日,大雾连续两天封锁首都机场,能见度仅为50—100m,影响起降飞机几百架次,滞留旅客10000多人,京津塘高速公路被迫关闭。大雾还多次造成多车相撞事故。

北京气象局曾成功进行“液氮消冷雾技术研究项目”的试验。北京市人工影响天气办公室工作人员介绍,由于液氮气化温度为零下195.8℃,通过地面车辆、气球或者飞机将液氮喷洒在雾中,可形成低于40℃的低温环境,从而让雾中水滴迅速冻结为冰晶。这些冰晶又迅速凝化周围雾滴长成小雪花降落,最终达到消除冷雾的目的。人工消除技术曾使沙河机场10平方公里范围内的能见度由30米改善到1000多米,效果持续。喷洒前浓雾弥漫,喷洒后冰晶下落如降雪,消雾区阳光明媚,照物有影。人工增雨:气象资料表明,从1999年到2003年,北京地区已连续5年夏季少雨,出现近年来最为严重的干旱时段。由于连年持续少雨,北京及周边地区旱情严重,水资源日趋紧张。自20世纪50年代末以来,北京就开始进入人工增雨的试验,已积累了相当经验。目前北京人工影响天气办公室可利用飞机、气球、发生器、高炮和火箭五种工具进行增雨作业。值得一提的是,北京把对环境无影响的绿色催化剂液氮用于飞机增雨作业,把全球卫星定位系统(GPS)用于飞机作业指挥,进行气球携带碘化银焰弹增雨(雪)作业,^①以达到呼风唤雨的目的。其中还有不少理论问题,如人工边界与自然边界等关系问题有待探索。

14.3 自然控制工程系统的特征

(一)它与一般控制工程系统的区别。

曾庆存院士提出了自然控制论与一般控制论不同的几个特点:

^① 曾伟,“呼风唤雨不是梦”,《科学时报》,2006年7月17日。

(1)被调控的客体是开放的自然界复杂环境系统,其质量、能量和信息量都非常巨大,且其各部分之间以及该系统与外界之间的作用关系也非常复杂。

(2)被调控的客体的演变或行为基本上是确定性的。但或者人们对其复杂性尚有许多未认识的东西,或者内部参数、初始条件和边界条件具有一些不确定(或未知的)因子、甚至可能还有随机因子。

(3)被控制的只是系统中很微小然而又不是很敏感的部分,调控的结果也只是改变系统功能行为或演变过程的很微小的部分,然而这一小部分正是人们所最关心的和最要紧的部分。

(4)被调控系统的功能行为或演变过程非常定偏微分方程组或偏微分方程和常微分方程混合组成的方程组所描述,因此,大都是偏微分方程的控制问题(也许对于生态过程的最简化模式的控制才可以简化为微分动力系统的控制问题)。

(5)被控制的大都是系统长期功能行为或演变过程。

(6)由此而使得所联系的调控问题求解复杂和困难,其计算量很大,对算法研究和计算机的容量和运算速度都有较高的要求。

(二)自然控制工程通常都是反自然的。因为它的目的是改造自然以达到为人类利益服务的目的。但其中必然要应用到自然本身的力量。拿人工防雷来说,目的是要控制在天空中的冰雹,不让其长得过大,以免它砸下来伤害地面上的人和物。当鸡蛋大冰雹从天空密集砸向地面时,顷刻之间就能将地面设施破坏,人员伤亡。科学家通过研究发现,利用催化剂进行人工防雷,即用高炮将大量碘化银等催化剂集中快速地送到云层,云中会形成大量的凝聚核,由于有了大量凝聚核,冰雹就不会增大。小冰雹对地面的危害性就减少了。该过程尽管是反自然的,但也应用了自然原理和自然力量,即利用催化剂使云层形成凝聚核,这是一个自然过程。

(三)自然控制过程使用自然的力量是有限度的。它是在理解自然规律的基础上利用自然的力量。其后果是不可能完全预料的。例如,近年来,有些科学家提出要给地球紧急降温的建议:在地球轨道上搭建“遮阳棚”以让地球降温;调拨更多的云层来反射阳光;让大海吸收更多散热的温室气体等等。这被称为地球工程学。但也受到激烈的反对,因为其中有着巨大的不确定性。

14.4 自然控制工程系统的价值

自然控制工程系统具有理论和实用的双重价值,特别地体现在以下几个方面:

1. 全球性环境保护和调控

在最近十余年来,国际上已形成了几个庞大的国际研究计划,甚至利用有关问题的初步研究成果,国际上已达成了政府间的公约和协议。例如,“气候框架公约”、“保护臭氧层公约”、“保护生物多样性公约”、“21 世纪议程”,以及由于执行“全球变化研究计划”等的结果而可能很快出台的关于限制能源消耗、减少污染和

保护全球包括海洋在内的生态环境的公约或国际标准,这些都有限制人类全体的活动的具体规定(例如限制污染、限制排放二氧化碳、氟利昂以及限制土地利用和生产活动),以便全球气候和生态环境在可容忍的范围内变化。毋庸置疑,执行这些国际计划研究,结果必然会抽出或形成统一的观点和普适的方法论,既形成独立的虽然是交叉的学科。

拿“可持续发展”来说,它的概念是在 1992 年里约召开的联合国环境和发展大会上提出的。2002 年 8 月在南非约翰内斯堡举行世界可持续发展峰会。会上提出:“关注环境是保证世界边缘化公民的生活和健康水平的关键。事实上,没有生态就没有消除贫困可言。”为达到世界可持续发展,峰会提出了公平与生态的关系问题,“由于气候和生物多样性公约涉及到各个国家,所以没有生态也即没有平等。反之,没有公平也没有生态,因为没有公平就不可能达成一致的意见。”

2. 国家经济建设与局部改造环境的工程需要

例如水利工程、港湾工程、治沙、水土保持、营造防风林、海岸带开发利用、改良局部地区气候和人工影响的天气等等,甚至农业、林业和渔业的规划,其规划即调控的对象或者直接就是自然生态环境系统,或者是人工的然而与自然界密不可分的生态环境系统。

3. 多学科的整合,以促进多学科的发展

如前所述,自然控制工程系统是很多学科的交叉点,涉及水利、大气科学、有关环境和生态的各学科、控制论、数学、力学物理学以及工程技术学科等。这些科学现在都已有长足的发展,为研究自然环境的调控问题已打下了足够的基础。不过,自然控制工程系统,不论从其研究对象还是理论方法上都不是上述各学科自身所能包容得了的,它是复杂的交叉,最终会发展成独立的学科,在科学上也是一个生长点。

4. 丰富一般控制论和系统论的内容

控制观念从前科学发展到科学,其间经历了漫长的历程,直到维纳的名著《控制论》的问世,标志着科学控制观念的成熟。维纳把控制和通信视为动物和机器的共有特征,把控制论界定为关于在动物和机器中控制和通信的科学。维纳关于自动开展系统的创建是控制观和技术的巨大进步。

“控制观念的进一步演变,是自组织控制和智能控制系统在运行过程中能够依据环境变化时对自身的结构和控制规律有所调整,甚至在一定程度上表现出类似人的智能特征。控制过程从自动化发展到自组织化智能化,意味着控制观念提升到一个新的高度……”^①,而曾庆存院士提出的自然控制论则“代表控制科学新的主要生长点。”^②按照苗东升的意见,自然控制论将“代表控制理念和控制方式的新变革——使控制自然化……所谓控制的自然化,最本质的含义是控制要顺应自然,减

①② 1、2、3、苗东升,“从控制自然到自然控制”,《河池学院学报》,第 26 卷第 2 期,2006 年 2 月,第 7 页。

少控制过程及其后果中的人工性,增大其自然性。”这正是本文前述曾院士的“自己组织与自己控制”,它理所当然地要求人与自然的和谐性与协调性。由此可见,自然控制论为人类未来发展提供一种新观念、新途径和新方法。

杨嘉墀院士总结说:

“曾庆存院士提出的自然控制论,概括了人类生存与持续发展所迫切需要解决的问题。它具有理论和实用双重意义。正如恩格斯指出的,‘我们对自然界的整个统治,是在于我们比其他一切动物强,能够认识和正确运用自然界规律’。自然控制论正是为了研究如何正确运用自然界规律来改造客观世界,使地球成为更适合于人类生存与发展的行星。”^①

14.5 自然控制工程系统尚存的挑战

从工程技术角度来看,自然控制论的研究还存在一些挑战性的问题。杨嘉墀院士提到以下几个方面的挑战:

第一个遇到的问题是建立模型的问题,包括数学模型,大量观测书籍的数值模拟以及其他基础知识的融合。这个模型可以部分用定量表达,部分有定性的逻辑关系表达,但要有一定的可操作性,从而可以进一步研究控制方法。

第二个问题是系统辨识。对分布参数系统来说,不但要求对已知状态方程的系数进行辨识。还要对未知初始条件、边界条件和形状进行辨识。

第三个问题是如何调控,也就是选择探测部位控制区域和作业方法,在时间上和空间上找到关键部位,使控制能量最小,效果最好,这里控制指标对各类实际系统如何提法也是一个值得研究的问题。

第四个问题是验证方法,这是减少盲目性甚至灾难性的关键。因为我们没有一个相同的自然系统进行比较,对人工控制所产生的效果如何进行验证,传统的办法是物理模型或计算机仿真技术。对各类自然系统,可能还要用两者结合的办法。^②

对于这个问题,曾庆存院士自己心知肚明。他在与本章作者的交谈中,涉及以下一些问题:

1. 自然控制论在气象上的应用

如森林与气候的关系、草原与气候的关系。绿洲的问题是自然控制论研究的一个问题。自然形成的绿洲的机制是什么?这种机制对于人工绿洲的形成有很大的意义。但这里有一个困难就是开边界的问题。一般的系统控制,我们是有限制边界,但对自然的控制是很难限制边界的。

①② 杨嘉墀,“控制论的发展与自然控制论”,载《系统研究》,浙江教育出版社,1996年,第19—20页。

2. 中医中药的自控问题

人体本身是一个控制系统,就是生物控制论的问题。控制论的开创者维纳就提出了动物和机器控制的问题。维纳提出了反馈的重要性。对生物现象的影响,欧洲提出了协同学和自组织。中医就有一个对症下药问题,它要通过了解病人的状态,才可对症下药。但了解病人的状态就不容易。

3. 自然控制论与人工影响天气

人工影响天气很早就有,但我们提出来在自然控制论的条件下来影响天气,对天气的影响进行科学的效果的检验,包括可计算性。通过人的干预了解对手(天气状况)的状态,对作业进行修正,达到对手的控制,就如中医的下药,通过试探了解病人的状态,然后采用对症下药。

4. 人工边界和自然边界的问题

污染问题在自然控制论中比较接近机械控制论,但自然控制论可以将人的行为指标量化,作为控制的要考虑的一个因素加入到系统中。自然控制论和工程控制论的一个区别是,工程控制论的机械是一种离散的,而自然控制论是要考虑的是一种空间分布的。控制的目的也是以分布的结果为目标的。所以自然控制论的困难在于要解高维的偏微分方程,多至一万多个参数。

5. 自然控制论与可持续发展

水资源如何利用,农业如何利用、牧业如何利用、工业如何利用。如草的利用和草与水的关系,建立模型研究草与地质、牲畜间的合理关系。把自然控制论的观点应用到地方施政和地方合理布局上去。不光农村,而且应用到对于城市水资源利用的合理性上。

6. 自然控制论还能应用到更多的领域,其中有:

人工影响天气、人工调水、人工消雾、人工除霜(晚霜对农业影响很大)、河流的治理(河道的治理调水调沙——输水控沙)、生态控制(海洋、湖泊中的养殖业以及赤潮的控制,等等)。

自然控制工程有着其施展才能的广阔天地,人们将能在那里大显身手!

刘峰松

15. 知识创新工程

15.1 知识的涵义

随着知识经济时代的到来,知识的重要性越来越凸现。当代科学技术快速发展,研究领域不断拓展,研究手段不断更新,人类获得的知识总量迅速膨胀,以至于人们用“知识爆炸”来形容当下面临的局面。在一定意义上而言,如同缺乏知识使我们感到困惑和痛苦一样,当我们面对海量信息和知识时,同样会感到惶惑和苦恼。怎样才能有效选择对个人或团队有用或有益的知识?对于迅速积累的大量知识,应该如何加以管理才能更好地发挥它们的作用?怎样通过有组织、有计划的工程手段实现更高效的知识创新,以推进中国的现代化建设,加速经济、社会、国防等各领域的发展进程?又应该如何加强管理,使创新获得的新知识更好发挥作用,乃至对全人类做出更大的贡献?这些问题的探讨无论在理论层面还是实践层面都是非常有意义的。

15.1.1 知识的定义

关于知识的研究和讨论,在学术界有很长的历史,在许多学科领域都有所关注和研究,提出了许多不尽一致的看法和观点,这些看法和观点不断丰富和发展着知识概念的内涵和外延。对于一般公众而言,英国哲学家培根提出的“知识就是力量”的观点已经成为尽人皆知的名言,中国经历过十年“文化大革命”的人们也不会忘记“知识越多越反动”的反文明的荒唐口号。那么,究竟什么是知识呢,或者说,知识的定义应该是怎样的呢?

早在古希腊时代的哲学家就对此开始广泛研究。柏拉图在《泰阿泰德篇》中提出了一个知识论的主要问题“知识和真或正确的意见的区别何在”,因此,“什么是知识”的问题也被称作“泰阿泰德问题”。^① 柏拉图区分了两类知识,即感觉知识和理念知识。他认为,感觉知识并不能给我们提供任何不变而必然的知识作为真正共同观念的基础;为此,我们应该认可有一个理念世界的存在,与感觉世界分开,只有理念世界才是真正的世界,所以知识是理念知识。亚里士多德则排斥任何先天知识,认为感觉知识才是理智知识的发端,所以,他强调一切知识都由感觉产生。

^① 胡军著,知识论,北京大学出版社,2006年,第45—52页。

在中世纪,有唯名论和唯实论等关于知识本质的争论。近代科学时期,更有现象论、观念论、实在论等知识主张。

波普尔作为西方科学哲学家中的代表性人物,在 20 世纪 60 年代,提出了著名的“三个世界”理论,把知识单独列为一个世界。他认为,世界在本体论意义上包括三个泾渭分明的世界,简称为世界 1、世界 2、世界 3,它们是相互作用、同等实在的世界。世界 1 是指物理世界或物理状态的世界,世界 2 是指精神世界或精神状态的世界,世界 3 是指思想内容的世界,也即知识世界。世界 3 如同世界 1 和世界 2 一样,是独立存在的。为了论证世界 3 的存在,波普尔把知识分为主观知识和客观知识两种不同的知识。他认为,主观知识是个人固有的倾向或对外界刺激的感觉,客观知识则是能够用语言表述出来的期望、感觉和想法等思想过程。

中国国家科技领导小组办公室在《关于知识与国家基础设施的研究报告》中指出:“知识乃是经过人的思维整理过的信息、数据、形象、意象、价值标准以及社会的其他符号化产物,不仅包括科学技术知识(这是知识中的重要组成部分),还包括人文社会科学的知识,商业活动、日常生活和工作中的经验和知识,人们获取、运用和创造知识的知识,以及面临问题做出判断和提出解决方法的知识”。

正是由于知识研究由来已久,其内涵非常丰富,外延十分广泛,观点各异,很难用一个确切的、大家都认同和接受的概念加以定义。目前,人们从学科研究的需要出发,给出了各种各样的知识定义。既有从认识论、本体论角度的定义,也有从经济学、信息论角度的定义。尽管知识有形形色色的定义,按本书作者的认识,知识是人创造的,但知识是客观的,它完全可以被检验,并且将随着人类实践进程而得到丰富和发展,这是知识最本质的特征。

15.1.2 知识的分类

为了更深入地了解知识的本质,我们可以对知识相关问题进行进一步讨论,其中涉及数据、信息和知识的关系问题,以及知识的管理和知识的分类问题。

正如对于知识的定义难于有一个统一的说法一样,知识的分类也有不同的类型。按照 OECD 的报告,把知识分为四类:知道是什么的知识(know-what),知道为什么的知识(know-why),知道怎样做的知识(know-how),知道是谁的知识(know-who),这其中知道是什么的知识与信息有时难于区分开来。此外,还可以根据领域将知识分成自然知识、社会知识、思维知识;根据获得的方式将知识分成经验知识和理论知识,等等。这里特别有必要指出,同知识管理关系较为密切的一种知识分类法,即把知识分为显性知识(又称言传性知识)和隐性知识(又称意会性知识)。言传性知识是可以用语言文字表达的,并且是可以通过编码输入计算机处理的,所以又称其为可编码的知识。意会性知识是靠实践摸索和体验获得的,是无法用语言文字描绘和传递的。

对知识的管理就涉及上述言传性知识和意会性知识的不同含义,鉴于上述两

类知识在本质上的区别,有必要对相关的数据、信息和知识概念的关联关系进行简略的讨论。一般而言,数据是抽象符号的集合,用以描述事物的属性及其相互关系,由于已经加以抽象,数据本身是不具备具体意义的。信息则是有具体意义,或实际用途的数据。知识是基于对信息进行加工,通过概括提炼,反映事物本质的经验和理论^①。总之,数据、信息、知识三者具有一定的关联性,也有根本上的不同,这一点在研究知识和知识管理中应该加以注意。

未来学家托夫勒说过:“掌握知识的知识更有力量”。而掌握知识的知识就是管理知识。在知识爆炸的当代,研究知识的管理问题十分迫切。关于知识的管理,主要包括三个方面:科学界的知识管理,社会上的知识管理,组织中的知识管理。

15.2 一般创新的概念

目前,创新的概念已经深入人心,甚至有泛化和庸俗化的倾向和危险,究竟什么是创新呢?创新应该是指发现和产生有价值的新事物或新思想的创造性活动。这种活动必须是对常规的突破和超越,同时其发现或产生的新事物或新思想必须有益于人类社会的进步。

15.2.1 经济学意义上的创新

美籍奥裔经济学家熊彼特在其 1912 年出版的《经济发展理论》一书中,首次提出了“创新理论”。根据熊彼特的说法,“创新”是指企业实行对生产要素的新组合,它包括 5 种情况:

(1)引入一种新产品,或者是一种消费者还不熟悉的新产品,或者是提供一种产品新的更好的质量。

(2)采用一种新的生产方法,这种新的方法并不需要建立在新的科学发现基础之上,而可以是以新的商业方式来处理某种产品。

(3)开辟一个新的市场,使产品进入以前不曾进入的市场,不管这个市场以前是否存在过。

(4)获得一种原料或半成品的新的供给来源,这种来源可能是已经存在的或者是第一次创造出来的。

(5)实行一种新的企业组织形式,如建立一种垄断地位或打破一种垄断。

显然,熊彼特的创新是一个经济学意义上的概念,是从经济学角度出发,研究经济发展中科学技术,特别是技术创新的作用和贡献。

但是,直到 20 世纪的 70—80 年代,熊彼特的技术创新理论才开始引起广大经济学家以及管理学家的高度关注,陆续出现了一些专门化的研究,这些研究被称之

^① 王众托著,知识系统工程,科学出版社,5—11 页,2004 年。

为“新熊彼特主义”。

技术创新理论的提出以及受到学术界和企业界的重视,正是 20 世纪科学技术迅猛发展,并逐步成为企业乃至国家经济发展的主要动力因素所致。科学技术的不断进步,导致基于技术发展的产品、工艺、管理等方面的各种创新大量涌现。

世界科技进步与经济实践的表明,技术创新理论对于推动经济快速发展具有重要作用,同时,高新技术的发展及其产业化,也不断完善和丰富了原来意义上的技术创新理论体系。

15.2.2 创新概念的拓展

比较大众耳熟能详的含义,显然,今天人们所说的创新的内涵,已经远远超出了上述经济学的范畴。创新概念的内涵和外延都大大扩展了,譬如制度创新、理论创新、科技创新等等。不论创新概念如何名目繁多,我们的一个基本观念是,创新的结果必须具有价值,它可以是社会经济价值,也可能是认知价值。创新有着它自身的特征,包括创新具有不确定性,创新存在风险乃至失败的可能。创新活动已经从个人的活动发展成为群体的活动,以致今日已经成为国家的发展战略。认识到创新的特征,人们才能以正确的态度对待它。

任何创新活动,都必须以使其结果具有明确价值为目的,创新活动的各个环节都要紧紧围绕保证实现创新的价值来设计和展开,并且在创新活动的实践中加以调整和完善。没有明确价值作导向的创新活动是没有意义的,或者根本就不能称之为创新活动。

创新活动的本质在于新,在于对原有事物或思维模式的突破,创新就是要打破旧的传统、旧的习惯、旧的观念和旧的做法,因而也常常受到旧势力和旧习惯的阻挠。创新具有不确定性,要承担失败的风险。作为创新者个人,应具有坚忍不拔的毅力和持之以恒的精神,具有思想解放和勇于开拓的气质。

要实现创新的价值和目的,就要正确认识和把握创新的内在规律和特定要求。对于创新个体而言,需要必要的教育程度、合理的知识结构、充分的社会经验,加之克服困难的信心和意志,以及具有综合运用知识和经验的能力,等等。

既然创新具有不确定性,存在风险乃至失败的潜在可能,为了有利于创新活动的进行,需要在全社会努力形成提倡创新的气氛,形成宽容理性探索失败的评价机制。当然,创新是有风险的,从事创新活动的主体也是需要有一定能力的,也要防止和反对以创新为名,盲目进行求新求异的假“创新”,我们这里讲的创新必须具有明确价值导向的实践活动。此外,任何创新活动都应该具体问题具体分析,对于那些从事具体工作的人,首先还是应该按照既有规章和规范完成好本职工作,而不能假借创新之名违反合理的规则制度。

现代创新模式也不再是线性的,而是要形成多个单元互动的网络体系,这里的单元既可以包括个人,也可以是群体;最有效的创新网络体系应该是能够自我调节

并不断进化以适应瞬息万变的外部环境的系统。目前,许多国家为迎接新的国际竞争的压力和挑战,纷纷提出建设创新型国家的战略,并制定了相关配套政策措施,在一定意义上讲,就是试图将整个国家作为一个复杂系统,构建能够成功应对外部变化的创新网络体系,以实现国家发展的政治、经济、文化以及社会目标。

综上所述,我们这里所讲的创新,必须具有明确的目标价值导向,或者说,创新的结果必须是有价值的,无论这种结果价值如何,都应该对人类以及人类社会进步具有积极的作用和意义。这种创新结果的价值可以体现为物质层面上的社会经济产品,也可以体现为在精神层面上拓展和促进人类对未知世界的新的认识。当然,由于创新的不确定性,也应当容许有失败。有的可能要经过多次的失败,才有可能获得成功。

15.3 知识创新的特征

人类社会经历了农业经济和工业经济时代,创造了历史悠久的辉煌文明成果,今天,社会的发展已经进入 21 世纪,正在进入一种新的知识经济时代。在农业经济时代拥有更多的土地资源是人们的梦想,在工业经济时代占有更多的资本资源是人们的希望,在知识经济时代,掌握更多的知识将成为人类永恒的追求。

15.3.1 问题的提出

21 世纪,世界将由工业经济时代迈入知识经济时代。据研究,在 20 世纪的 100 年中,社会生产力增长了 30 多倍,从 1 万多亿美元增加到大约 50 万亿美元。其中,知识特别是科学技术的贡献已经从 5% 上升到 70%—80%^①。科技进步已经成为国家富强的源泉,成为人类文明发展的根本推动力。

随着人类历史进程的演化,人类掌握的知识总量不断扩展。自欧洲科学革命爆发的 300 年来,人类社会的知识总量以几何级数方式迅速增值扩大。但是,据估计,这些知识总量中的 90% 却是最近的 50 年中生产创造出来的,这样的时代堪称“知识爆炸”的时代。

在人类发展的历史上,知识特别是科学技术的作用,是随着生产力的发展和生产力水平的提高而逐步显示其重要性的。马克思曾经多次指出,在人类发展过程中,引起社会生产关系发生根本变化的根本力量是生产力,而科学技术是生产力中最活跃的因素。在农业经济时代,由于生产方式的限制,知识特别是科学技术的作用比较小。进入工业经济时代之后,科学技术迅猛发展,新的技术发明和技术成果不断涌现,知识和科技的贡献日益增加,知识成为蕴涵在人力资本和技术中的重要部分。尤其是近 50 年来,技术进步在经济增长中的贡献已经跃居为各种生产要素

^① 李京文等著,《知识经济与决策科学》,社会科学文献出版社,2002 年,第 1 页。

中的第一位。

以 OECD 国家为例,其主要成员国的国内生产总值中,大约一半以上是以知识为基础的企业生产的,高技术产业在制造业中的份额和出口中的份额大幅度增加,同时,这些企业获得的投资额也在不断增加。此外,这些国家用于研究与开发的经费、用于教育经费以及职业培训的经费开支占其国内生产总值的比重越来越大。这些都显示出发达国家对知识生产和应用的高度重视。

在当前知识经济时代,知识对于个人、单位乃至国家发展的重要性是毋庸置疑的。可以说,在知识经济时代,影响一个国家综合国力和国际竞争力的决定性因素,将不再是土地资源和资本资源的占有程度,而是创造知识和应用知识的能力。

15.3.2 知识创新的概念

正是在这样的背景下,知识创新问题无论在理论层面,还是在实践层面,都引起了学术界的广泛关注和讨论。与此同时,信息技术和网络技术的发展为信息共享提供了可能性,也对如何进行数据的管理和挖掘、知识的组织和管理等提出了新课题。

但是,正如前文对知识和创新的讨论一样,对于知识和创新很难给出一个统一的定义,同样,对于知识创新也很难获得一个广为认同的定义。1992 年 OECD 发表报告提出,创新是一个广泛的概念,广义的创新可以指称各种形式的创新,包括知识创新、技术创新、制度创新、组织创新、管理创新和政策创新等等,其中,知识创新的概念自 20 世纪 90 年代提出来后,其内涵不断演化。

1993 年,美国学者提出一种观点,认为:所谓知识创新,是指为了企业的成功、国民经济的活力和社会进步,创造、演化、交换和应用新思想,使其转变成市场化的产品和服务。显然,这里对知识创新的理解,仍然局限在最终形成物化的产品和服务上。

其后,中国学者研究知识创新问题提出,知识创新是指通过科学研究(包括基础研究和应用研究)获得新的自然科学和技术科学知识的过程。其目的是追求新发现、探索新规律、创立新学说、创造新方法、积累新知识。知识创新是技术创新的基础,是新技术和新发明的源泉,是促进科技进步和经济增长的革命性力量^①。

这里探讨的知识创新是以科学知识和技术知识为路径的创新,因为科技已成为经济社会发展的强大动力。在科技创新中必然会涉及人文社会知识,但我们把它们作为环境和条件,而不作为对象。这将有助于我们对问题讨论的集中和深入,同时也契合中国的实际情况。

近来,又有研究者提出了知识创新的两种理论定义。第一种定义认为,知识创新是指在世界上首次发现、发明、创造或应用某种新知识,主要包括科学发现、技术

^① 路甬祥主编,《创新与未来》,科学出版社,136 页,1998 年。

发明、知识创造和新知识首次应用等 4 种表现形态。第二种定义认为,知识创新是指在世界上首次引入知识要素和知识载体的一种新组合和新组合的首次应用,并提出存在 6 种知识创新的新组合,这些新组合与知识创新的 4 种表现形态大致是对应的^①。

我们认为,应该在更广阔视野下理解知识创新的涵义。区分某种活动是否具有创新的性质,关键是看其是否能够创造价值。而这里所说的创造价值的涵义是非常广泛的,包括有助于改善生活质量的经济价值,有助于完善对自然界、人类自身以及人同自然关系认识和理解的认知价值,有助于提升道德修养、净化心灵,等等。知识创新活动,不仅能够拓展和加深人类对外部世界和自我内心的认识,具有精神和文化层面的价值,而且能够通过创新价值链的延伸,推动生产力的发展,创造巨大的经济效益,产生物质层面的价值。

15.4 知识创新工程化

随着人类文明的发展,经过漫长历史的积累,自 20 世纪后期以来,知识已形成了网络。今天,知识的创造已不再像过去那样是以个人创造为主,群体创造已经取代个人创造成为知识创造的基本特征。知识创新工程正是为适应新时代的知识特征应运而生的。

15.4.1 工程概念的引申与拓展

关于工程的概念,《现代汉语词典》的解释为:“土木建筑或其他生产制造部门用比较大而复杂的设备来进行的工作,如土木工程、机械工程、化学工程、采矿工程、水利工程、航空工程。”《新华字典》的解释为:“关于制造、建筑、开矿等,有一定计划进行的工作,如土木工程、水利工程。”显然,就一般意义上而言,所谓工程指的是有计划进行的复杂的大型的生产实践活动。

从科学史的角度看,在 19 世纪之前,科学活动主要还是个人的事业,科学研究和知识创新是以个体化的小规模研究作为基本特征的,政府对科学研究和技术开发的参与程度很低,投入也较少,所以,这个时期的科学也被人们称为小科学时期。但是,20 世纪中叶以来,科学技术研究日益呈现出规模化的工程特征,政府对科学活动的参与程度不断加强,投资越来越大,出现了许多诸如美国的曼哈顿工程、阿波罗登月计划、星球大战计划,欧洲的尤里卡计划,以及范围更加广泛的人类基因组计划等等的所谓大科学工程。科学已经成为一种群体的事业,乃至社会的事业。

我们认为,大科学的出现不是偶然的,是符合科学研究发展规律的必然结果。随着人类对客观世界认识的深入,科学研究所涉及的问题越来越复杂,单一学科的

^① 张凤、何传启,知识创新的原理和路径,中国科学院院刊,389—394 页,2005 年。

研究方法和手段已经不能满足需要,科学研究需要的投入也越来越大。正是在这样的背景下,为了更好地集成不同领域的科技人员的智慧,共同解决重大的复杂的科学技术问题,必须采取一种新的科研活动组织模式,即工程化的组织模式。

在本书第一章中讨论了工程的一般定义,工程是以价值为取向,整合科学、技术与相关要素,有组织地实现特定目标的实践。在这里,我们提出知识创新工程化的概念,其实质就是以工程化的手段,对知识创新进行组织和管理,将以往通过个人行为获取新知识的方式转变为群体的、有组织的工程化形式,这也许是科学研究组织方式的新进展和新突破,以更加有效地实现经济社会发展和科技自身进步的目的。

换言之,知识创新工程是一种以工程化方式组织进行的,具有特定价值取向和明确目标的,按照系统论方法对科学、技术及其相关要素加以整合集成的实践活动。其合理性和必要性在于,创新是不同行为主体和科研机构之间复杂交互作用的结果,是多个主体之间的协同活动,是一个复杂的系统工程。知识创新是集知识的生成、传播和利用的过程,它需要进行组织和管理,对新知识的生产、传播和应用进行组织管理,也就是对知识创新过程进行组织管理。

15.4.2 中国科学院知识创新工程实践及其启示

1998年,中国科学院启动实施了知识创新工程试点工作,目前已经顺利完成了总体目标中的第一阶段和第二阶段各项任务,2006年开始按照计划进入第三阶段。中国科学院知识创新工程在理论和实践层面都具有重要意义,作为国内第一个以知识创新工程名义组织的科学技术研究活动,其时间跨度长、涉及范围广、组织规模大,值得进行深入分析和研究,并从实践中不断总结经验,以更好地指导今后的实际工作,这对于中国特色国家创新体系和创新型国家的建设,都具有典型的示范作用和意义。

按照本书作者关于工程系统论的观点,任何一项工程首先要有明确的目标,有特定的价值取向,并且要紧紧围绕该工程的目标和价值取向,将相关要素加以系统整合。

中国科学院知识创新工程试点的目标和价值取向是十分明确的,就是全面实施科教兴国战略和可持续发展战略,探索形成与国际接轨并具有我国特色的运行机制和现代科研院所管理制度;提高我国知识创新能力和效率,培养造就具有创新意识和能力的高素质科技人才,为我国创新能力的不断提高提供坚实基础和源泉;力争在若干重点学科领域取得一批国际公认的重点科技成果,解决一批国家建设中的重大关键科技问题,展示中华民族智慧,为丰富人类知识宝库做出贡献。

自1998年启动以来,中国科学院根据知识创新工程试点工作的总体目标和基本内容,从经济全球化、知识经济和世界科技发展态势出发,始终紧密围绕国家战略需求和世界科技前沿,根据知识创新工程的目标和价值取向,加强战略研究与整

体规划,对全院科技布局、体制机制、人才队伍、对外合作、创新文化等相关要素进行必要的系统整合,完成了建院 50 年来涉及面最广、意义最为深远的改革与调整。经过第一阶段“启动阶段”和第二阶段“全面推进阶段”8 年的努力,试点工作取得的主要进展包括以下几个方面:

(1)科技布局调整有序推进。较大幅度凝炼与提升了科技创新目标,部署了一批新的科技生长点,基本完成了对传统学科布局的调整,整体科技布局更加适应我国经济社会发展战略需求和世界科技发展趋势。

(2)体制机制改革取得突破。进行了大力度的用人制度、分配制度、资源配置制度、评价奖励制度、资产管理制度的改革,使得创新资源向创新能力强、创新效率高的创新单元富集,形成了竞争向上、协调发展的良好局面。

(3)队伍代际转移顺利完成。科技创新队伍结构明显优化,一大批青年学术和管理带头人开始承担重任,队伍整体素质和创新能力显著提升,队伍结构日趋合理。研究生教育规模迅速发展,质量不断提高,初步形成了科研教育紧密结合、良性互动的局面。

(4)对外竞争能力显著增强。开展对外合作是知识创新工程试点工作的重要组成部分,是科技创新成果转化和实现产业化的重要环节,是以高新技术促进传统产业改造的重要手段。坚持对外开放合作,加强与地方、行业、企业和大学的合作力度,加强与社会创新资源的紧密结合,共同推进我国科学技术进步。

(5)创新文化建设初见成效。创新文化建设包括三个层面,核心是精神层面,包括科学价值观、世界观和科学精神等;其次是制度层面,包括规章制度、行为规范等,再次是可视层面,包括园区环境、形象标识等。目前,全院创新文化建设已经从以可视层面和制度层面为主,逐步转向精神层面的建设。

探讨中国科学院知识创新工程试点工作取得成效的原因,既可以从国家经济社会发展的大环境入手,也可以从全院各级领导重视和职工努力入手。中国科学院知识创新工程试点既然是一项工程实践活动,并且取得了一定的成效,按照工程系统论的观点,就应该具有系统的特性,包括整体性、有序性、层次性、相关性等属性和特征。本文试图从工程系统论的角度,针对中国科学院知识创新工程试点的实践活动,提出几点值得关注的问题。

第一,知识创新工程的整体性。中国科学院在启动知识创新工程之初,就充分考虑到全院研究所情况的多样性,在全面规划部署的基础上,分别选择包括高技术类、基础研究类、社会公益类三种不同类型的研究机构率先进行试点,为在全院范围内进行改革摸索经验,保证试点整体性效果的实现。

第二,知识创新工程的有序性。中国科学院在进行知识创新工程试点中,首先根据试点工程的总体目标,将工程实施过程划分为三个阶段并明确了每个阶段的目标,即在 1998—2000 年的启动阶段基本完成 8 个知识创新基地建设,在 2001—2005 年的全面推进阶段形成国家科研机构新体制和现代科研院所制度,在 2006—

2010 年的优化完善阶段大幅度提高创新能力。

第三,知识创新工程的层次性。中国科学院在知识创新工程试点工作中,充分发挥院所两个层面的积极性,明确各自重点,院层面更加重视宏观指导,按照“领域前沿、重要方向、重大项目”三个层次部署实施了一批创新项目。其中,领域前沿项目以基础研究和高技术前沿探索为主,由研究所自主布局;重要方向项目紧密结合科技布局调整和创新基地建设,开展基础性、战略性和前瞻性研究;重大项目采取顶层设计、统一规划、自上而下的组织方式,发挥我院综合优势,实现多所多学科系统集成。

第四,知识创新工程的相关性。中国科学院在进行知识创新工程试点工作的过程中,始终高度关注涉及知识创新能力各个方面的协调发展,以保证整体创新效能实现最大化。2002 年适时提出全院新时期办院方针,明确了中国科学院在国家创新体系中的战略定位,全院在发展和改革重大问题上形成高度共识。其后又提出了包括“科技创新跨越发展战略”、“科技创新人才战略”、“科技创新可持续发展战略”的新时期三大发展战略,统筹协调部署事关知识创新工程试点成效的各个方面。

知识创新工程是一项全新的工程。中国科学院知识创新工程作为试点,尽管其经验不是完整的,但却是无比宝贵的。当然,本文对中国科学院知识创新工程试点工作经验的总结并不一定是十分全面和非常确切的,但这些经验已经充分显示出,知识创新工程在工程系统中脱颖而出,成为一枝“新秀”,不能不引起我们的足够重视。

胡作玄

16. 人类未来文明工程

人类未来究竟如何发展,自古以来就是众多有识之士关心的课题。大多数人只是关心其个人或家庭的命运,但也有许多学者、专家考虑国家乃至全人类的发展道路。历史充满了偶然因素,其发展历程千变万化,难以预测。虽说,历史主义规律性的神话早已打破,单纯的线性外推不足以认识未来,但从未来文明工程来讲,历史的经验仍然是以使我们对于现实与理想的差距有所认识,对于未来的图景有所期待。我们仍然掌握着未来发展的一些关键因素。

40年前,1966年前后,未来研究或未来学作为一门新兴学科兴起,这从两方面突出地表现出来,一是国际协会未来学的成立,二是关于未来学的学术期刊开始出版。其后,未来学的著作也出版多种,其中有些的确产生较大的影响,例如托夫勒(Toffler, Alvin, 1928—)的三部曲:《未来的冲击》(1970)、《第三次浪潮》(1980)、《权力的转移》(1991),尽管不完全准确地预知一切未来事务,但在预言“信息社会”“知识社会”的到来上却非常到位。未来学家也发展多种预测方法,常用的有十几种,总数也达百种以上。十多年前(1995)两大卷《未来百科全书》问世,标志未来学的成熟。

不可否认,未来预测在方向上、在速度方面、在确定性方面出现不少问题甚至明显的错误。但是对于现在的人工社会或人工制品社会,仍使我们有可能对于未来的情景做出更好的预测。虽然,人们对科学、技术以及社会预测还不够满意,但对未来工程预测要更好一些。究其原因是因为工程中的主观价值因素起很大作用,前面第5章“工程分类”中关于价值与需求的分析是进行未来工程预测的基础。在本章中,笔者还要提出一种比较新的研究思路 and 方式,也就是不变性或拟不变性的假定。

16.1 人类未来的情景

传统的未来研究考虑较多的是多变的、复杂的自然、社会以及人的环境,因此,很难对所有因素做出恰如其分的适当估计。大多数的研究常常只考虑某一方面,或者对某些方面忽略、或者做不适当的强调,从而导致结果完全不适当。本文采取数学的、公理化的思维方式,先对瞬息万变的人类社会中的不变因素或拟不变因素找出来,然后再研究其演变的可能性以及速度,从而使未来的研究更为贴近实际。

未来的研究的核心是人,未来的走向也与人的价值取向密切相关。正如古希腊哲人所言“人是万物的尺度”。近年来,由于人对自然的征服而受到惩罚,开始重视生态环境,但是,自然仍然是作为人的生存环境来考虑的。因此,未来的预测离不开人的本性以及对人的优先考虑。

近年来,人类社会有了巨大的变化,这首先表现为人的认知能力的提高以及人在建立人工世界方面的加速。然而,人在体能和智能方面的变化都是不大的。人的成长及衰老过程基本上没有太大改变。100多年来,人特别是生存在城市中的人脱离自然界的自然成长,生活在人工环境之中,出现生理上早熟的状况。卫生条件的改善的确降低疾病的死亡率,但没有显著改善或减缓衰老过程。人的智能也没有显著改善,尽管知识有了加速的积累。换言之,人的生理及心理状况有某种不变性。当然,未来文明工程的人体工程和人智工程可能在这方面有所突破。不过由此也带来许多新问题:太多的“聪明人”仍然会对社会造成一系列麻烦。

关于人更大的不变性是文化积累所造成的人性,也可能是人固有的天性。人之初性善性恶的问题可能是个问题,至少在自私、贪婪、残暴、妒忌与仇恨等方面与古人没什么两样,如果不是更厉害的话。正因为如此,冲突与战争从来就没有终止过,和平不过是战争的短暂停顿,持久和平只是一些人的美好愿望。

以上两种不变性——人体的不变性与人性的不变性使人对未来的看法产生两种对立的观点:一种是乐观主义的观点,一种是悲观主义的观点。乐观主义相信社会越来越进步,生活会越来越好。悲观主义则相反。它们在未来学的研究中都有许多代表人物,乐观主义的代表人物是卡恩(Kahn, Herman, 1922—1983),他是学科学出身,相信科学进步可以克服一切困难,例如他居然认为地球可以养活150亿甚至200亿的人口,而且这些数字甚至在21世纪就能达到。悲观主义的代表是罗马俱乐部,其代表作《增长的极限》警告世人资源很快即将枯竭。从某种意义上讲,悲观主义的祖师爷是马尔萨斯(Malthus, Thomas, 1766—1834),他在剑桥大学受过数学训练,应该说他掌握一定的科学方法,他的研究细节已被人批驳得体无完肤,甚至到21世纪还有用实证方法检验他们结论的论文(《美国经济评论》,2001)。可是马尔萨斯的两个主要结论是正确的、合理的,这也保证他在思想界的不朽地位。一是人口的数量受到生活资料生产的制约,在1800年左右,这主要指粮食。由此他得出结论,人口按等比级数增加,用现在的话说,就是指数增长。从1800年左右世界人口9亿(不同的估计为8—10亿,公认不到10亿)到2000年左右超过60亿恰为指数曲线。二是人口不能按照自然方式无限地增长下去,由于有战争、瘟疫、饥荒等原因使之减员。另外,他认为人们也应进行道德控制,即节制生育。从现在来看,正是由于这些因素,世界人口才没有如有些人估计在2000年左右达到100亿。

从某种意义上讲。乐观主义者和悲观主义者都有一定的片面性。中庸之道也不可取。从未来学家来看,托夫勒则更为正确地做出预言。社会没有像乐观主

义者和悲观主义者那样进行线性外推,而是“涌现”出新事物完全改变社会的惯性进程,说它是信息革命也未为不可。科学的本质在于它的预见性。19世纪伟大的法国哲学家、实证主义的倡导者孔德(Comte, Auguste, 1798—1857)说“认知,目的就是为预见”。如果预见只是拍脑瓜胡猜,那只不过是一堆堆垃圾。预见就是要为未来指出方向,所以《未来百科全书》列举100位未来学家中,有我们所熟悉的名单:牛顿、爱因斯坦、达尔文、培根、马尔萨斯、奥维尔、汤因比、麦克卢汉、熊彼得、马斯洛等,因为他们更能正确地为我们指明未来的方向。

21世纪的来临给我们的未来带来两项新的不变性:一是空间的不变性,地球上已没有多少适合人正常生存和发展的空间了,人类必须学会和平相处。二是天灾人祸不可避免性,而且许多灾祸难于预测和预防。

当前灾祸已经成为科学研究的对象,例如2002年斯普林格出版社已出版以《灾祸科学》^①命名的文集,但其内容还不是系统讨论所有灾祸,其副标题提到气候、市场,它们构成第二部分气候系统、第三部分生物动力学、第四部分非线性经济学的主题。第一部分讨论一般的概念及方法,特别是熵、复杂性、可预见性等一般系统科学或广义系统科学的概念及多维分析、时间序列等处理方法。

对于可能出现的灾祸的分级见于阿西莫夫(Asimov Isaac, 1920—1992)的《大灾难的选择》^②一书。虽然这本书是通俗著作,而且稍嫌过时,但其分析框架与方法对现在社会仍有启发意义。他定义了五类自然大灾难:

1. 整个宇宙的破坏,例如熵的增加、星的塌缩等。
2. 太阳的破坏,例如与太阳的碰撞、太阳的死亡。
3. 地球的大灾难,如在外星体、小行星、彗星等对地球的撞击,地球运行速度变慢,地壳的移动,气候变化,地磁的变化等。
4. 地上生物的灾难。如传染病,微生物,新的疾病以及人间冲突、战争等
5. 人类的退行性变化,如资源、能源的破坏和枯竭以及各种人为造成的大破坏,阿西莫夫列举了人口、教育、技术、计算机所产生的问题。

虽然阿西莫夫未能具体见到其后的信息时代的来临、艾滋病以及文明冲突,但他的系统有相当的预见力。尽管第一、第二两类灾难离我们尚远,第三至第五类灾难都已经在近30年中多次见到,并产生巨大的影响。例如禽流感、飓风、海啸等,但是从科学、技术、工程层面上还没有有效的办法来减少人员伤亡和财产损失。

随着20世纪80年代起以微机的诞生为标志的信息时代和知识经济时代的来临,第六类大灾难,即技术的灾难也随之涌现。信息工程和生物工程等有可能带来人类文明进步,但同时也有产生灾难的可能性。

① A. Bunde, J. Kropp, H. J. Schellnhuber(eds) The Science of Disasters, Springer, 2002.

② I. Asimov, A Choice of catastrophes, The Disasters that Threaten Our world, Simon and Schuster, New York, 1979.

16.2 人类未来文明工程的框架

本书前面许多章已讨论许多工程及其未来走向,其中大部分是涉及自然界以及人工物质世界的。当然这些是人类生存及存续的基础。本章的内容是与其互补的,在有了一定物质基础之后,人的社会要向更高的层面发展,因此,本章贯彻“以人为本”的方针,主要以人为中心,讨论人类本身的发展。

即使这个题目,内容也过于丰富,为此,我们把涉及人的未来工程分为四大类:即涉及人的生存环境、有自身、人的精神创造物、人类社会等四类工程。分别简称为环境工程、人本工程(或身心工程)、文化工程、社会工程。由于人的复杂性,它们之间也互有交叉,概念的含义也会产生不同的理解。这里只是从工程系统论的角度来设计未来可能出现的一些“子”工程,不可能求其全面,但这里所谈的问题无疑都是其中最为重要的。

既然谈到工程,而且是从系统观点看,还都是巨型项目,显然不可能面面俱到。这里主要考虑的工程要素有,工程的目标(输入),工程中所包含的已经解决和大部分未解决的关键科学技术难题,发展或实施的阶段以及可行性的探索。比较全面的分类参看本书第5章。本章所选的四大类未来工程,每类只选有代表性的两三种工程,对于它们稍加扩展的讨论。

本章关于人类未来文明工程的框架如下:

1. 生存基础工程
 - (1) 和谐的生存环境工程;
 - (2) 人口工程。
2. 身心工程
 - (1) 人体工程;
 - (2) 人智工程。
3. 文化工程
 - (1) 历史工程;
 - (2) 教育工程;
 - (3) 广义的知识工程。
4. 社会工程
 - (1) 和谐社会工程;
 - (2) 世界和平工程。

16.3 生存基础工程

生存基础工程可分为消极和积极的两个大方面,消极的方面主要是抑制或减

弱、减缓人为造成的自然界的破坏,积极的方面主要是设计和优化环境。两者之间不能截然分开。消极的环境工程应该看成整个环境工程的初级阶段,它主要着眼于人类对自然环境较大规模破坏。自从有人类以来,人类对环境破坏的力度逐步加强,在农业社会,这种破坏一般还在小规模的、可控的范围之内。但是随着人口的增长,特别是工业革命以来,这种破坏已到达不逆转的程度。

人类进入农业社会以来,最先利用和改造的自然环境是土地,特别是把它们改造为耕地。随着人口的增长,大规模的扩大耕地,毁林开荒、过度垦殖、过度放牧,到19世纪后期起化学肥料出现后的过度施肥,已经对于环境生态产生重大破坏,特别是水土流失、土地荒漠化、盐碱化等。土地破坏间接引起沙尘暴、洪涝干旱等自然灾害,破坏生态平衡。土地利用工程主要应该限制土地中各种不良因素,调控土壤水分及肥力,防止土壤退化及污染,保护土地生态环境。

从工程系统论的观点来看,土地利用工程的科学,技术的难题并非那么难于解决,困难的是经济、社会及管理问题。土地利用工程应有统一的土地利用规划,对于水土保持、土地保护、土地开发、土地整治有着系统的设计,其精神是优化土地利用结构和布局,挖掘土地生产潜力,提高土地利用率和生产力,使每块都能进行良性循环并取得良好的经济效益、生态效益和社会效益。在土地开发方面,应采取综合工程技术措施,对于尚未利用的土地以及利用不充分的土地进行开发,例如对“四低”(中低产田、低产林、低产园、低产水面)和“四荒”(荒山、荒地、荒滩、荒水)土地资源的开发。^①

对技术进步引起的巨大破坏甚至人类生存的关注大致是从第二次世界大战之后开始的。这时对环境破坏大都用一个关键词来描述,那就是污染(Pollution)。当时最典型的污染源主要是三个:放射性、DDT等杀虫剂以及化石燃料特别是煤和石油的大量使用。在当时由于发展核武器的军备竞赛,人们最担心的还是核武器有核工业,然而真正造成长远损害的则是后两类。

1962年美国作家卡森(Carson, Rachel, 1907—1964)发表著作《寂静的春天》引起巨大反响。她指出DDT对于整个环境的破坏,特别是她提到了环境的整治与企业的经济利益的矛盾是造成环境逐步恶化的主要因素。实际上,直到现在,环境与经济对立还在我们身边天天出现。从工程的角度来讲,环境工程不仅限制了少数人的经济利益,而且环境工程还需要相当大的投资,因此,从功利的观点讲,它是见效慢,而且经济上不合算的工程。正因为如此,价值观的差别成为环境工程的瓶颈。

卡森的著作最终还是引起巨大的反响。美国从1969年完全限制DDT的生产和使用。更重要的是,1972年,第一届全球人类环境会议召开,“环境保护”这个概念为大家普遍接受,许多国家把环境保护列为一项国家的政策。尽管环境与发展,

① 参见孙鸿烈主编《中国资源百科全书》,石油大学出版社中国大百科全书出版社,2000。

特别是经济发展的矛盾远未解决,但是,许多国家和个人至少在口头上不公开反对环境保护。在这种条件下,人们的环境意识得到巨大提升,许多问题也逐步被提出来,其中最典型的有温室气体排放、酸雨、物种灭绝、原始森林破坏、海洋污染等。而在大多数发展中国家,许多老问题仍然严重,环境污染并没有得到很好治理。对于新兴的、刚刚富裕起来的国家,在发展的过程中,不仅产业的废弃物造成污染,而且城市居民过量消耗造成环境的更大损害。大城市中的居民天天处于大气污染、水污染、土地污染、噪声污染乃至粉尘、恶臭气体、电磁辐射、垃圾充斥的恶劣环境之中。从某种意义上,对大多数人来讲,生存质量不是提高而是降低了。

16.3.1 和谐的生存环境工程

和谐环境工程涉及人与自然和谐共处,并谋求优化自然环境使之适于人类的生存和发展的巨型的工程。从长远的观点看,它关乎全人类的利益,而以前几乎所有工程都几乎只考虑部分人群甚至个别人的理想、目标以及价值取向。环境工程也是典型的极端复杂的系统工程,它的问题关乎多门科学和技术,而且与社会科学以及各种社会关系,社会实践密不可分。从工程系统论的意义上讲,它具有足够的典型性。

自从人类存续至今,人类就一直不断地改变着自然环境,以求符合人类自身的要求。虽说,许多生物也有同样的行为,但它们对自然环境的改变是消极的、被动的,其结果也是微不足道的。而人类则不同,他们有意识地、有计划地、有目标地对环境施加影响,他们的自然观由崇敬自然,畏惧自然到利用自然和改造自然,从这个意义上来讲,他们不像其他生物被看成自然环境的一部分,而逐步成为与自然系统相对立的系统。从人类存续以来,人类就实施一些最早的工程:水利工程、土地改良工程等,它们对自然界的损害还是局部的,而且在无意识当中受到限制。例如一些肥沃的土地由于过度的开垦、放牧、耕作以及森林的过度采伐而荒漠化,沙漠化。对此,人也受到一些惩罚,人在无法适应自然环境时,就像动物一样大规模迁徙,并造成大量的减员。

只有在近 200 多年,特别是科学的创立以及产业革命的兴起,造成思想观念上和社会及环境的大变革。最重要的结果有三个方面:第一,人完全站在自然界的对立面,人的出发点就是为了(从个人到群体到全人类的)利益去征服自然。第二,人类逐步创造出一个人工环境,而且由于自然环境遭到重大破坏,许多人特别是城市居民几乎完全生活在人工环境当中,与自然环境相距越来越远。第三,由于人“征服”自然的成功,产生出盲目的乐观主义与虚幻的“进步”观念,造成自然环境的更大破坏和人口增长,人口压力更进一步形成自然界更大的破坏,产生恶性循环。这些思想和实践至今在许多发展中国家甚至发达国家中仍有相当大的市场。

在创造适合人类生存的和谐自然环境方面,发达国家和发展中国家面临的问题不完全相同。发展中国家所面临的形势更为严峻,除了自然灾害频繁发生,无力

救援之外,更重要的是由于污染所带来的基本生存环境的危机。这些污染已直接损害一般民众的日常生活。下面几方面已直接影响许多城市(例如北京)的生活。

1. 空气污染

以北京为例,虽然已迁出大量污染性企业(如化工、钢铁企业)和大烟囱,北京的污染并未明显好转,这主要由于大量汽车的尾气排放所致。扬沙天气及建筑施工也造成污染。而许多国家烧煤的污染及化工厂事故更造成灾难性后果。火灾(特别是森林火灾)常常造成大气污染。1952年伦敦烟雾事件是战后最显著的空气污染事件,它引起有关人士对环境问题的注意。但森林火灾,如印尼森林火灾多次波及新加坡等邻国,已造成严重后果,这与当地的防灾、救灾工程不完善密切相关。

2. 净水缺乏与水污染

在世界上水问题更为严重。现在世界上干旱缺水的土地占陆地30%,不久将来将占到50%以上,而且江河湖海的污染也是当前十分严重的问题。2005年松花江的水污染已造成城市的饮用水问题,2007年太湖绿藻污染显示水问题已经迫在眉睫。从某种意义上讲,水问题甚至比食物问题还严重。

解决水问题从长期看还是要靠工程。中国已提出南水北调的各种方案,特别令人注意的是由西藏高原取水。这些工程现在都处于初级阶段,也即计划及论证阶段。作为典型的大工程,由实施到建成到使用还有许许多多技术及经济、社会问题,而这正反映工程的特点。虽然人的需要是第一位的,但是,许多工程的错误也不能低估,例如一些水库的建设造成严重的负面影响,这是不能不加以考虑的。

从长期来看,解决缺水问题的主要靠海水淡化工程。这个工程从技术上还有改进的余地,但主要矛盾是成本及经济效益问题。在未来学刚刚问世的40年前,有的未来家就乐观估计很快就会实现廉价的海水淡化,实际上到现在形成大规模工程还为时尚早,个别小岛上现在的确采用海水淡化供水,不过成本仍高。同时水的净化工程对多数发展中国家也是问题。

中、短期解决缺水问题恐怕还是要靠水循环利用工程及节水工程。从现在看,法制及管理问题很重要。在普遍道德低劣的社会中,少数人居然在高楼修建自家的游泳池,想让他们考虑公共利益,岂非缘木求鱼。

3. 食物供应及安全、全球至今仍有10%以上的饥民

对于他们来说,粮食供应是第一位的。对于已解决温饱问题的国家与地区来讲,食品安全,无污染的绿色食品等问题已提到议事日程上。许多问题仍在科学和技术层面讨论,最典型的是转基因食品。但也有大量问题完全是由于利益驱动,这些事天天见诸报端,例如肉注水,瘦肉精等等。这种情况大肆泛滥,实际上是工程的管理问题。

更为重要的,最近,通过玉米提炼乙醇更为食物供应敲响警钟。则是土地问题。土地荒漠化以及不合理利用引发更大的社会问题。

4. 废弃物处理

垃圾已是引起居民生存环境的大问题。垃圾不仅是污染源,而且占据宝贵的空间资源。垃圾处理乃至垃圾的循环利用都是涉及生存环境的重要工程。

人类未来的和谐生存环境工程远不止以上四个方面,但这个方面是最基本的,涉及公共利益,也关系人类长远利益。它们必须通过大型公共工程的方式去解决。

16.3.2 人口工程

人口是人类生存的基本要件,人口的数量和质量是决定人类文明发展的重要因素,人口与工程联系起来的提法还较罕见。从实质上讲,进行有意识地人口控制的运动并收到降低人口增长率的效果就是工程,它也符合工程系统论的观点。人口与生物的种群数量有一定的类似性,在不考虑人类自身特点时,基本上像自然调节,自生自灭,并符合一定的演化规律。但人与其他动物有极大差别,价值观在人口调节方面起着重要的作用。中国人口的迅速膨胀与中国传统文化中“不孝有三,无后为大”“多子多福”等根深蒂固的观点密切相关。其结果是一方面大量盲目生育,另一方面通过天灾、人祸、战争、瘟疫大量减员。总人口的数量从东汉(公元一、二世纪)到明末(17世纪初)大致维持在5000万—6000万之间,尽管有很大的涨落。人口猛涨时期是清朝,到康熙年间已达1亿,而到鸦片战争时期更翻两番,达到四亿。这个数字维持到解放初期,尽管有三年大饥荒以及70年代起的计划生育,中国内地人口仍然增加两倍多,达到13亿多,而美国人口在2006年10月才达到3亿;刚好是中国的零头。这样中国虽是世界第四大经济体,按人口平均只占110位。

20世纪70年代起,中国实行世界第一个人口工程——控制人口与计划生育工程,并取得很大成功。其结果是少生了3—4亿人。尽管还存在许多问题,这毕竟是一项了不起的成就。

从世界范围来讲,对人口提出警告的当然是英国经济学家马尔萨斯。但是,20世纪的人口仍符合马尔萨斯的增长规律。从1900年不足16亿;增到21世纪初64亿,也是翻两番。在这个过程中,关于人口的预测也是差别很大。1981年联合国人口基金会出版的报告预测,世界人口到2110年会稳定在105亿。而持乐观态度的学者认为,全世界人口到2000年才达到50亿。而在达到稳定人口水平之前,可能上升到140亿到160亿。时至今日联合国的人口基金会的报告也不断更改,原来预测2050年到达87亿,最近调高到91亿。笔者的估计是100亿左右。因此,人口数量的控制仍是人口工程的首要问题。

人口的发展、城市的加速膨胀带来巨大的经济问题也引发无尽的社会矛盾。因此,调控人口的数量及质量是人类发展的首要工程。

从长远来看,与人口问题密切相关的工程还有:

1. 就业工程

20 世纪末,美国面对新一轮的技术革命提出一系列就业对策,涉及新工程岗位的书也出版不少。典型的有,美国前劳工部长所著《国家的工作》,提出新的技术进步不仅没有减少工作岗位,反而增多工作岗位。与之相呼应,有《100 种有关环境的工作》、《数学家 101 种事业》等等。与此相配套,对于大学教学及职业培训进行多方面改革。

2. 优生工程

减少残、障儿童降生,鼓励及扶持优秀儿童成才。

3. 老年工程(夕阳工程)老年化问题成为世界问题

老年工程主要提供老年生活的优化环境,鼓励老年从事有益的活动。

4. 城市规划及协调发展工程

防止大城市人口片面发展。城市容积形成梯度结构,大城市应减少到 500 万乃至 100 万以下,城市布局合理化。

16.4 身心工程

近二三百年来,科学有着重大突破与发展,从而使自然技术和工程有着飞速进步,其后果就是建立起一个无处不在的人工世界。与自然研究相对立,对人的研究则远远落后,同时,人的自身除了物质生活状况有一定提高之外,人本身的变化应该说并不大。

关于人的进化现在仍是一个重要的研究课题。一般认为,现代人或智人存在大约 5 万年,有器物证明的历史约为 5000 年。当然整个世界发展是不平衡的,有文字记载的历史约为公元前 500 年前后,也就是距今 2500 年,孔子与佛祖释迦牟尼生活的时代。这时的人的体能与智力与现代人差别不大,体能方面恐怕古代人还要好一些,智能方面也不能说差。如果说差,应该说是近 300 年科学技术知识快速积累的结果。按照心理学家伽德纳(Gardiner),关于智力最粗的分类,智力分为七至九种:包括语言智能、音乐智能、逻辑智能、空间智能、运动智能等以数学的学习而论,现在学生计算能力提高完全是因为有非常先进的符号化技术的结果,而不是由于小学生智力的提高。对于欧几里得几何乃至 300 年前的微积分,大多数人学习仍有不少困难。尽管有先进的辅助工具,许多人对外语和音乐的学习仍有不少困难。这样,从长远来看,人的智力提高应能有所突破。

这样看来,人的身心工程应该分为人体工程及人智工程两大类,从未来的观点看,仍各有消极目标和积极目标两方面。

16.4.1 人体工程

由于人的环境的变化及个体差异,个人与平均人或正常人的器官的结构和功

能有一定的偏离,但是有一定数量的人有较大的器质缺损及功能障碍或缺失以致影响正常生活,通常称为残疾。据统计各种残疾人口占总人口 5% 左右,中国的比率也大抵如此。这不仅对于个人生活质量有很大影响,而且对社会也造成一定的负担。因此防残工程是未来人体工程的一项首要的迫切任务。

对于正常人来说,也会出现品质变化与功能损失的情况。以视力为例,许多人有近视、远视的毛病,特别是人人都会在 40 多岁之后产生老花眼的情况。另外老年白内障以及青光眼和视网膜黄斑变性也是常见的。后者基本上是无法治疗的。随着科学技术的进步,人们采取校正(戴眼镜)、手术、人工晶体(功能替代)等办法,然后未来的医疗工程则更着重于普查、预防、预警、延缓发生等手段以及基因工程、物理、化学治疗、组织工程、细胞工程、干细胞工程等系统工程使得功能得到改善甚至恢复。在这方面,它与现行医院个别的治疗不同,而是有社会的组织和管理在内的大工程项目。另一方面未来的医疗工程更着重于“防患于未然”,它具有强烈的工程特点,即明确的目标——维持正常人体功能,科学和技术的手段——有充分先进预警机制,以及严密的组织管理。

16.4.2 人智工程

人类现在已积累海量的知识,但是人本身的智能还没有显著的提升。人智工程也有消极及积极的两个方面:消极方面包括对弱智及智力低下的治疗及改善,积极方面则是对常人智能的改进。前者属于医疗工程的范围。其目标是从品质修补及功能改进上着眼,而且对儿童时期的特殊情形进行监控。现在已知许多因基因缺陷而导致的先天愚型病人,随着基因技术的进步,这些问题有望得到缓解。

常人智能的改进涉及比较复杂的科学技术问题。人的心理是十分复杂的,心理学的研究仍然是初步的,不能同物理学相提并论。另外,人的心理,包括智能有明显的个体差异,找到普遍规律是十分困难,也是不太实用的。

人智工程的第一步,恐怕是人—机结合的方式,例如芯片植入人脑,使人脑在计算机的帮助下能够更多的处理信息。人—机界面及信息流动尚有许多科学和技术问题。

人智工程的另一种形式是人工智能工程,一般公认人工智能作为一门学科诞生于 1956 年,至今已有半个世纪。人工智能的研究已取得不少成果,特别是人与计算机对弈以及专家系统等。现在一个重要的成果就是多种自然语言的无障碍交流。自然语言不同于机器语言,有较大的灵活性及文化背景,这是机器较难实现的。随着科学及技术的进步,自然语言交流工程与机器翻译工程将会取得较大的进展。

智能工程的另一途径是利用化学方法,也许还有物理方法或生物方法改善某种智力,例如记忆力、动手能力,音乐演唱能力等。

智能工程从教育的观点看,还有心理的技术,例如教育技术。由于人的个体差

异,未来的教育可能是一对一的。当然,基础教育还是一位教师多名学生,但是在音乐、体育等方面,一对一的教育明显存在。以音乐而论,在达到一定的水平之后,学习钢琴、小提琴等都是一个老师指导一名(或少数几名)学生,做到因材施教。这种手工业的做法在培养尖端人才方面是行之有效的。

智能工程一项重要任务是天才的发掘以及人的智能多样性的发展。其最终目的是使每个人的潜能都得到最好的发挥。

16.5 文化工程

文化工程大体上可分为“三个面向”:面向过去、面向现在、面向未来。面向过去的工程可以概括为历史工程,面向现在的工程主要是教育工程,面向未来的工程主要是广义的知识工程。

16.5.1 历史工程

主要目标是对过去历史和文化进行全面系统的整理和挖掘。其中包括考古工程,复原工程,文献整理工程等,其目标是还历史一个本来面目,使人们对历史有一个比较全面的、正确的认识。历史同科学一样,对它的认识是无穷无尽的,但近代的科学使我们掌握科学的方法,使我们对真、伪有比较明确的判断,历史则不然,现在仍然缺少高明的技术手段来揭露历史真相,尤其是对人的思想及活动进行复原的能力仍然较差。科学技术的进步使我们对于某些基础的方面可以产生较为科学的推论,例如各个族群的亲缘关系以及迁移的过程可以通过基因技术来确认,人口数量的变化也可以不致错的太离谱(不同的研究对于历史上人口数量的估计可以相差数倍),遥感及成像技术使考古工程实施更为合理,甚至代替以前的挖掘工程,计算机及网络技术对大规模信息处理也提供了优良的条件。这些技术手段无疑会大大改善人类过去历史文化的研究。

文献是人们认识过去的重要工具。中国是历史文献最为丰富的国家,纸及印刷术的发明也使大量的文献得以保存。但是,社会动乱以及意识形态也使大量文献遭到破坏。明《永乐大典》及清《四库全书》无疑对文献的保存及整理做出贡献。现存文献约为 10 万种,估计占 3000 年的文献的 1/10 左右。除了过去整理的《大藏经》及《道藏》之外,近来也在整理儒家典籍《儒藏》以及科技文献,这些无疑都是重要的文化工程。

明清两代,从 15 世纪初到 19 世纪末 500 年间虽然对文化工程有一定的贡献,然而由于专制统治的思想控制,创新方面趋于衰微,相反,西方的古典文献远远不如中国的数量大,而且也大量损毁,其中包括亚历山大城图书馆中的大量文献。然而 15 世纪中,西方活字印刷术的发明以及由文艺复兴及宗教改革推动的思想解放运动导致西方文献大量增长,近 500 多年,虽然战争频仍,保存下来的文献数量仍

然惊人。通过西方各大图书馆的统计,不重的总量约达1亿种,远还不包括从17世纪特别是19世纪以来大量的期刊文献和各种报纸、杂志等出版物。正是其中的科学、哲学、社会、人文、文学、艺术作品等影响了近代,特别是近200年世界的发展历程。由于计算机技术的提高,把这些文献录入计算机供公众使用已在进行之中。对古代文明的文献也相继有些研究,而且从中发掘出以前遗失的文献,例如阿基米德的著作。

文献的发掘与整理当然有助于历史事件真相的揭露,但许多问题仍需新的证据及研究。德国人对纳粹屠杀犹太人的罪行认罪十分彻底,但600万人的数据有可能偏高。与此相反,相当数量的日本人否认南京大屠杀,这与右翼分子仍然猖獗,而且与所谓历史学家长期伪造与隐瞒历史的传统有关。这种现象不仅日本有,前苏联、中国和其他国家也大量存在。随着事件远去,有可能对历史真相产生模糊化的后果,因此,历史复原工程是未来文明工程的重要方面。应该说,科学技术的进步的确已产生积极的成果。

16.5.2 教育工程

面向现在的文化工程主要是教育工程,也可称为人力资源工程。从工程的原始概念来讲是建立人造物或对自然进行较大规模的改造,这两者都与自然界按照自然的方式发展是完全不同的,人之所以为人是人几乎不可能完全按照“自然”的方式成长及发,甚至早期发育阶段也不行。“狼孩”就是最为明显的例子,狼孩虽然能够作为生命存活下来,但他与同类交往的语言有力则几乎永久丧失,更不用说其他人类文化成果了。人是社会环境和文化的产物。因此,自古以来,教育工程就是人类最重要的非实体工程。粗略说,3000年以前,特别是孔子时代之后,各种教育体制逐步成形,不过,它随着地域文化不同而不同,与时代背景与传统文化有密切关系。

教育工程具有工程的两个重大要素:一是目标问题,二是手段问题。教育目标也就是培养什么样的人的问题,显然这同实体工程一样是千差万别的,尤其与当时当地的意识形态和价值观更为密切相关。中国古代教育主要培养为帝王服务的官吏和自觉的驯服工具,而现在许多国家和地区又着重培养职业、专业人才。显然这些目标是难以培养出未来世界的新人的。

教育工程的目标确定之后,一般来讲,手段问题并不一定能很好解决。在这方面教育工程远远比实体工程落后。最典型的实体工程是建筑,虽然从目标方面看,可能是满足帝王的需要或者只是给普通人找个安身之所,其实现的技术方面、施工过程与管理方面并没有原则的困难,尽管其结果有好有坏,对其评价也不可能都相同。但是教育工程则完全不同,一是人的个体的差异,其潜质、素质有极大的不同,在许多方面,可行性问题是一个主要的工程问题。以一个非常简单的目标为例,比如说唱歌和拉小提琴,无论教法有多优越,老师学生有多努力,有相当一部分学生

可能根本永远达不到一个最低标准。二是人的发展目标的多样性,他们需要发展各种能力,学会各种知识才能在社会上立足。即使从就业上来考虑,专业过分狭窄恐怕也是不利的。尤其是,知识与技能的老化也造成很大的困难,尽管由于学习工程的进步,这种矛盾仍然是相当突出的。无疑,随着计算机技术、信息技术、人体工程、人智工程等的进步,技术问题会有所改善,但可行性的矛盾仍然突出。

从未来的文明工程来看,这种矛盾在尤其突出。以现在(21世纪初)已经见到的情景来看,两个问题已经提到议事日程上,这两个问题都涉及教育工程的目标,这就是:一,个人的全面发展,二,人的原始创新能力的培养,这两方面无疑是对现有教育体制提出重大挑战。前一方面涉及全面教育特别是基础教育体制,尤其是终身学习工程的建立(参看第9章)。后者现在已有创新工程的提倡,但还需要具体的落实,从系统的观点看,涉及多方面、多层次的协同。其基本要素涉及行政系统、经济系统、教科文系统、安全系统等,而实现创新工程,健康的创新环境必不可少,特别是基础设施(许多科学创新需要大型设备如大型加速器、太空测装置等)、政策环境、人文环境、社会支持环境(特别是自由探索的气氛,客观公正的评价系统,杜绝那种急功近利的浮作风等)、国际环境(首先是和平环境以及正常的竞争及合作交流机制)等。中国作为一个人口众多的大国并不缺乏人才,中国人也不缺乏智慧,这是举世公认的事实。甚至中国的研发投入也不少,2006年已超过日本位居全球第二位,仅次于美国,但是在创新方面似乎差距颇大,而且还有越拉越大的趋势。其原因很大程度上与创新环境有关。因此,创新工程的重要组成部分是创新环境的优化。

从未来文明工程的角度看,人才与创新的重要性已成为大家的共识。但工程不能只停留在输入即目标层面,更不能只是简单的口号工程,而要对工程的输出(结果)进行预测及评估。从中国近年经济发展来看,成果和速度全世界震惊,但是,在公平及效率方面却差距颇大。资源浪费、环境污染已到达惊人的程度。显然,在创新工程方面也有同样的问题,大量人力和资金浪费掉,而对于未来国计民生有重要意义的工程却没有什么像样的创新。以能源而论,无发达国家国家还是发展中国家,能源过去是、现在是、将来更是国计民生的重大问题之一,可是发展极为重要,如果没有创新,势必依赖他人,这时国家利益是极大感胁。由此可以看出创新对国家的重要性。

创新的基础是人才,人才的培养在教育。应试式的教育是无法培养创新型人才的,从20世纪晚期起,先进国家就已经在创新教育上狠下工夫,培养大批优秀人才,有些国家大搞形式主义,大学质量急剧下滑。学生找不到工作,所谓论文也是拼拼凑凑,教师不认真教学,也不能做像样的研究,培养人才成为空话。不少人靠奥数发财,毁了不止一代人。少数人占有大量的科研、教育资源,与世界差距越拉越大。教育工程实际上十分紧迫。

16.5.3 广义的知识工程

面向未来的文化工程的核心主要是广义的知识工程。虽然知识工程、知识经济、知识社会的口号早已提出,但与现实实施并不是一回事。现在多数人已认同知识在未来社会中的核心作用,但对什么是知识仍然聚讼纷纭,莫衷一是。这是我们引用著名未来学家托夫勒的话:“知识,从广义的角度说,包括资料、信息、影像、象征、文化、思想、价值等。”^①他没有区别数据、信息与知识,也没有区别高级知识和初级知识,这些都需要今后仔细鉴别与评估,但从我们这个系列研究来看,着重于科学知识、技术知识、工程知识,以及哲学、社会科学、人文科学、历史等高级知识。

虽然知识的概念还有待系统探讨,不过面向未来的广义的知识工程已经可以明确的定义。知识工程的目标是更广泛、更深入、更快速、更有效地生产及创造知识。当然知识的交流、知识的学习、知识的教育、知识的传播也是十分重要的,但从未来的硬件及软件来看,知识的创造及创新永远是第一位的,是改变世界的决定性动力。其他方面也很重要,甚至从速度和效率上越来越有所改善,然而它不能代替知识的创造。

未来的知识工程是建立在一系列的前提条件环境要素之上的,不管怎样,知识是人创造的,因此,必须有起码的人的生存条件的保证,而不只是温饱与安全得到满足。另一个条件是比较多的人有条件有时间从事知识创造活动。

由于未来的知识是建立在过去知识的基础上,因此许多知识领域的创造需要有一定的学习时间以及学习能力,同时知识的教育过程需要通过教育工程来改善,这方面的改善往往与知识的飞速发展相矛盾。在某种程度上还需要前面所说的人智工程相配合。现在还不能指望人智工程有立竿见影的效果,以数学为例,许多人对理解欧几里得几何仍有困难,到于300年前创立的微积分,恐怕90%以上的人难以理解和掌握,更不用说高等数学的辉煌大厦了。为了弥补普通教育的不足,对于有一定才能的青少年适当的引导也许是一条更有效建立人力资源之路,不过当前的错误体制以及错误引导(如奥数)已导致极大的浪费,在这方面,前苏联和匈牙利都有几十年上百年的成功经验可资借鉴,但是在中国,有上百名中学生在奥运拿奖牌却没有产生一个像样的数学家。

从未来的知识工程来看,两方面问题有着特殊的意义:一是理论研究将起重要作用,二是人员的管理。科学之所以成为影响人类社会发展的最有效的知识,正如怀特海所说:“19世纪科学最大的成就是掌握科学的方法。”近代科学的飞跃都与理论创新有关,这也就是为什么只靠经验积累和实用的文化不能产生科学的原因。理论必须给出预言,必须得到实证,但是,人们不可能只满足于进行越来越昂贵的观察及实验设备,而更要在理论上取得突破。现在数学、计算机技术、理论科学的

① 阿尔文·托夫勒,海迪·托夫勒著《未来的战争》,阿留等译,新华出版社,1996。

发展已为理论的加速发展提供了重要手段,而且这是最廉价的方法。其次,未来的科学发展将越来越趋于团队工作,因此科学管理提上日程。工程的最重要的要素之一是管理。自从有人类社会以来就有管理。而所谓“科学的管理”则是从美国工程师泰罗开始的。其实,任何工程和任何社会一样,都离不开技术与管理,只是中国直到最近才认识到管理的重要,他们早就忘了列宁对泰罗的管理所做到经典评价。列宁早在泰罗制一出现就提到:“资本主义这方面的新发明——泰罗制——也同资本主义其他一切进步的东西一样,有两个方面,一方面是资产阶级剥削的最巧妙的残酷手段,另一方面是一系列最丰富的科学成就,……苏维埃共和国在这方面,无论如何都要采用科学和技术上一切宝贵的成就。社会主义实现得如何,取决于我们苏维埃政权和苏维埃管理机构同资本主义最新的进步的东西结合的好坏。”当时列宁考虑的是落后的俄国如何通过技术及管理赶上先进国,现在是如何把管理应用于科学和知识的生产上。

16.6 理想社会工程

16.6.1 和谐社会工程

和谐社会的理想虽然不局限在一个国家乃至一个社区范围之内,但这却是和谐社会的基础。而且从历史上看,的确有许多试验是在社区进行的。典型的和谐社会除了宗教社区之外,均带有世俗的、乌托邦社会主义(后相对于科学社会主义而言,也称为空想社会主义,它是马克思主义的三个来源之一)的色彩。乌托邦一词来自英国作家莫尔(More, Thomas, 1477—1535)在1516年出版的著作《乌托邦》。书中描述了理想社会的情况:共和政体取代君主政体(这在当时颇为大胆,因为500年前所有政体都是君主制),所有人均参加劳动,六小时工作制,所有人能善用余暇,禁止炫耀奢侈,采取和平手段解决争端,宗教宽容,法律合乎人道等。这些在当时看来不切实际、过于空想的社会赋予乌托邦一词理想和虚构的色彩。尽管如此,这些设想在当前先进的文明社会实际上大部分实现,但是,现代意义上的和谐社会却并没有达到。

莫尔之后创立理想社会的思想分为激进的和缓进的两种路线:激进的以法国科学家傅里叶(Fourier, Charles, 1772—1837)及英国改革家欧文(Owen, Robert, 1771—1858)为代表,他们的重要进步在于实施工程的可行性研究,并且付诸实践。1825年,欧文带看儿子去美国,在印第安纳州建立新社区,名字叫 New Harmony,直译就是“新和谐”。社区财产公有,成人享有平等的权利,担负平等的义务,每个人对公益做出最大的贡献,也获得同等的食物、衣服、住宅及教育。但是这个社会工程维持了三年就解散了,欧文也因此损失4万英镑,这几乎是他的全部财产。究其原因,公社处于资本主义的大背景下,它的内部也存在宗教分歧、民族偏见与个

人矛盾。从管理上来讲,消费大于生产成为最大的经济上的发展障碍。其后各种类似的社区也有不少,但都由于这样那样的缺陷寿命不长。欧文的社会工程并不全都失败,他开创了合作运动,特别是建立合作工厂,合作社,公平市场等,受到马克思的赞扬,而且在后来的资本主义社会中也有一定的发展。

基于科学社会主义理论的前苏联与东欧国家进行了人类有史以来最大的社会工程,这个伟大工程的失败原因很多,但经济原因肯定是主要的一个。另外,这些社会的权贵专政,显然与和谐社会相去甚远。

缓进的理想社会较为典型的社会工程是在一些国家发展起来的福利制度。例如北欧的一些国家,国家对每个公民“从摇篮到坟墓”都包了下来,但是这种庞大的支出都是靠纳税人的重税来维持的,这形成国家的财政负担。另外,这种太有保障的社会使全社会失去活力,懒人充斥,很难在整个大环境下竞争。但是,不可否认,这些社会的内部问题要少许多。

大多数国家离开“和谐社会”的理想目标相差甚远。过去被讥为一点一滴改良的社会工程还是十分必要的。所有的不和谐因素主要还是来自人本身。人性中的自私、贪婪、缺乏公共道德以及民族文化的劣根性是走向和谐社会的最大障碍。

从系统工程角度看,和谐社会的建立有如下不同的层面的问题:查找不和谐的因素,消除或减缓其后果,根除有破坏性的不和谐基础,建立和谐社会的基本体制,巩固及发展积极的因素。

不和谐的因素的主要方面是自然的,即人生而不平等。这些不平等在不良的文化环境中得到放大和加强,最终被纳入社会的等级制度当中,从而使不平等体制得到强化、细化及恶化。

造成不平等的原因,有些是先天的,如性别、种族、地域等。后天的因素也起了巨大作用特别是有的发育环境的文化、宗教、教派,社会、法律制度、家庭的财富、权力,教育特别是对人的成长的诸多限制,其中既有意识形态方面原,也有制度方面的。人与人的不平等的后果主要有不宽容、仇视、歧视、压迫、强制、奴役等。而在底层的被压迫、被歧视的人群,自然也有他们的态度和做法。中国社会由于众多的人口和漫长的历史,在这方面也积累十分丰富的经验。从某种意义上讲,取得一定程度成功的方法有科举制度、文官制度,它们虽然不能平息不平等所造成的对立,却可以在一定程度上缓和矛盾。科举制度为希望改变身份的下层人物找到一条狭窄的通道,使之成为为皇权服务的鹰犬。这种制度的确使一些人在他们那个时代发挥了一定的作用甚至“挽狂澜于既倒”,例如曾国藩、左宗棠等人,他们的确通过科举考试上来,并通过升迁,能够有所作为。可是这是以大部分人处于底层为代价的。这些人通过“思想教育”完全被麻痹,成了奴性十足的人。中国的教育制度是“理论”脱离实际的,好的无非是“愚忠”“死谏”,坏的就投降、卖国。皇权的维持正好是靠等级制度,真正农民革命大都是不得已才造反。只要税收政策缓和,生产力会很快得到发展。如果不是外敌入侵,这种皇权下的“和谐”社会可以维持惊

人的几百年。

中国处理和谐的另一成就是解决民族问题的同化政策。从古到今,种族及民族问题是不和谐因素中最为重要的。在历史上从歧视、压迫、奴役到屠杀、灭绝,种族与民族矛盾和冲突屡见鲜。长期以来,中国北方游牧民族对内地的农耕文化构成种种的威胁,许多情况下甚至入主中国。这些民族对中国内地的统治巩固与它们是否采用中华民族的方法有关。这明显从清朝的统治可看出。不过在夺取政权时,这种斗争还是你死我活的。从中国人口史的研究可以看出:从西汉末年(公元一世纪初)到清初(17 世纪末),中国人口一直在 6000 万左右大幅震荡,高时可达 1 亿多,低时少于 3000 万。康熙采取免税政策之后,中国人口迅速增加,从康熙末年 1 亿翻两番达到鸦片战争时期的 4 亿。这是可谓“康乾盛世”的和谐社会的写照。也说明中国式的和谐社会似乎不难达到。从鸦片战争到解放前的 100 年,可以说是动乱时代,人口增长相对停滞,这反映“和谐”程度的下降。

当前的和谐社会建设存在的问题很多,从工程的角度来看,首先是目标明确,措施有可行性。

和谐社会,工程的目标主要有:

1. 提高生活质量。
2. 调节人们利益冲突,化解矛盾。
3. 良性互动。
4. 文化道德素质提高。

和谐社会甚至较健康和社会形态不能完全告经济发展、行政命令、法律程序,如果没有自觉的公民,一切都难以继续。一个社会充满黑社会文化、恶霸文化、无赖文化、底层的无政府主义、贪腐文化,一切制度都将形同虚设。

和谐社会工程的措施有:

1. 基础的社会保障体系:包括生育、医疗、养老、残障、失业、救灾等公民共享的福利系统。
2. 就业及职业培训体系,尽可能保障充分就业,在就业方面应提出职业岗位创新工程。特别是增加服务业的岗位,解决结构性失业问题。
3. 终生教育与学习工程。
4. 扩大及提高公共性文化工程。资助高雅艺术,全民健康设施,设立并充实公共图书馆、博物馆、美术馆、体育场馆等。

16.6.2 世界和平工程

战争为人群与人群之间的激烈冲突,冲突双方可以是部落、宗教派别、地区、阶级,最典型的则是国家与国家之间的战争。

人类有史以来就有战争。战争并非像某些理家所说,是阶级社会和文明社会的产物。正如莫里斯·戴维(David, Morris)在《战争的演进》一书中所说“许多原

始部落之间,频繁发生相互敌意的行动。”农业社会的出现使战争进一步升级。为获得农产品及土地和资源,战争是不可避免的。中国作为典型的农业社会,从来没有摆脱过此方游牧民族的人侵,和平的手段往往不起作用或者仅达到暂时缓和的局面,战争终究不可避免,汉朝以后,特别是宋以后经济处于下风。地理大发现以后,掠夺和扩张成了战争主要动因,战争连绵不断,而且明显带有国与国冲突的性质。20世纪初,统治与被统治的格局已基本确定,帝国主义战争更加残酷。十月革命以后,第二次世界大战更为惨烈,二次世界大战之后,虽然两大集团没有使冷战变成热战,所有局部战争例如朝鲜战争和越南战争都是两大阵营的较量,而且民族独立战争也有冷战的影子。

苏联解体以后,世界进入后冷战时代,原以为世界和平会来临,实际上,战争以另外的形式上演,在资源掠夺的背后,还有文明冲突的因素。不可否认,伊斯兰世界的崛起起着一定的作用。而这在冷战期间已经是显现出来。20世纪70年代的两石油危机以及1979年霍梅尼在伊朗掌权之后,爆发一系列战争,先是苏联人侵阿富汗,接着是两伊战争。这两场战争对当前仍有持续的影响,其后发生的海湾战争,波黑战争、一直到阿富汗战争和伊拉克战争,从某种意义上说是它们的延续。

从20世纪起,战争的方式有很大的改观,武器的改进已导致大规模杀伤性武器,特别是核武器的产生,它一方面使得杀伤力及破坏力大大提高,另一方面也产生意想不到的后果,这就是,大规模杀伤性武器,特别是核武器成为一种威慑的力量而不是实际动用的武器。这使得具有理性的军事家和政治家考虑到战争的结果可能是不分胜负,或者是全部毁灭。对于常规战争也有这样的情况,典型的是两伊战争,除了大批人员伤亡和规模破坏之外,双方不分胜负,最后交换战俘、维持现状了事。

经典理论把战争完全归结为经济及政治原因并不完全正确,人的心理方面的因素不可低估。爱因斯坦和弗洛伊德都认同人有好斗的本能,而且这种本能经过一些人的煽动就变成极为非理性的疯狂的行动。这也可以为下面事实提供了一种解释;从1945年到1990年2340个星期中,全球只有几个星期是全球真正没有战火的日子。而且这还是战后的冷战而非热战时期。从这个意义上讲,思想道德教育对于反对战争还是有一定重要性。几乎许多战争都有极端意识形态、极端民族主义和种族主义、极端宗教及邪教势力的煽动。对这些因素,和平工程是不能不加以考虑的。

随着战争越来越大,与之对立的和平主义、反战主义、非暴力主义也得到一定的发展,然而,不可否认,它们的声音还相对微弱,它们的力量还不足以制止战争,但是,它们的实践对于未来的和平工程还是有一定启示的。典型的例子是甘地的非暴力不合作主义。

现在社会维持和平的努力主要通过下述途径:(1)外交与国际沟通;(2)国际组织;(3)裁军、解除武装;(4)集体行动。

外交途径 主要是由两国或多国的谈判,促进合作与和谐。外交更深的基础应该是促进国家间的了解,消除因经济差异、文化差异、宗教和意识形态的差异所带来的冲突的风险。由于技术的进步,许多国家的战备住处都能或多或少被察觉,这对遏制战争有一定的用处。当然,着力要发动战争的国家往往也利用外交手段掩盖其战争活动进行突然袭击,例如,日本在珍珠港事变前及德国在进攻前苏联前所进行的“外交”活动。

国际组织 第一次世界大战结束后,42 国政府建立国际联盟,目标为维持世界和平,但效果甚微。例如,李顿调查团的报告反而使日本退出国联。欧洲的情形也正如爱因斯坦早在 1929 年就已指出的“软弱无能的国际联盟在国家主义发狂之时,甚至不能够拥有道义上的权威。”第二次世界大战后成立的联合国,对危害和平的国家有一定制裁措施,但很难完全阻止许多地区的区域性战争(如中东、东南亚、非洲的战争,乃至最近的以黎冲突)。联合国的维和部队虽起一定的作用,但它还是没有超越国家主权的施制权力。因此,其作用是有限的。

裁军和解除武装 主要是控制、减少或排除某些国家或集团的各种武器。这种方法对于某些地区特别是小国起一定的作用,但是,由于世界的武器贸易以及大规模杀伤性武器的扩散,使这种措施的效果很小。幸运的是,冷战时期,没有发生热核战争,产生“核冬天”这种全球性的恶果,但后冷战时期的文化冲突更难使得核武器不扩散。

集体行动 主要是谋求地区和平与安全。使战争局部化。

不过,这些方法过去都使用过,对于未来事业是否适用还有待观察。